

IX

CERTAMEN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

"Carlota Riaño Lara"

I.E.S. GUADARRAMA: camino a la excelencia en bachillerato

I.E.S. GUADARRAMA

IX Certamen de Proyectos de Investigación "Carlota Riaño Lara"

I.E.S. Guadarrama: camino a la excelencia en bachillerato



Con el patrocinio
del Ayuntamiento de Guadarrama

Guadarrama abril 2026

Edita:
I.E.S. Guadarrama
Los Escoriales 9A
28440 Guadarrama (Madrid)

Con el patrocinio del Ayuntamiento de Guadarrama.

ISBN: 978-84-09-84777-8
Depósito legal: M-11184-2026
Maquetación y portada:
José Carlos Sánchez

Impresión: MARTE Impresiones & +

Foto portada:

Fondo fotográfico de la NASA

Galaxia espiral Arp 184 o NGC 1961 (Hubble)

Esta magnífica galaxia espiral se encuentra aproximadamente a 190 millones de años luz de la Tierra en la constelación de Camelopardalis (la Jirafa). Su único y ancho brazo espiral, salpicado de estrellas, parece extenderse hacia nosotros, y en su lado oculto se aprecian algunos filamentos de gas y estrellas.

Índice general

Introducción.....8

LA VIOLENCIA VICARIA: LA HERIDA QUE NO SE VE, PERO DEJA HUELLA
Análisis sobre el desconocimiento social y las secuelas psicológicas en la infancia
María Aláez Canales
Tutora: María Sanjuán Bustos 11

CUANDO LAS EMOCIONES TIENEN HAMBRE
Un estudio sobre el hambre emocional en adolescentes
Amanda Benito Santana
Tutor: Eugenio Jiménez Blázquez.....35

OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE OVOCITOS FELINOS:
Efectos de la recuperación y el almacenamiento sobre la maduración *in vitro*.
Sara Blanco Re
Tutora: Yolanda Genicio Salomón.....53

ENTRE TRAMPAS Y HOJAS:
Análisis del crecimiento condicionado de la planta jarra púrpura y estudio de sus relaciones simbióticas
Jorge Caballero Cáceres
Tutora: Amaya Matos Yarza.....77

EL PAPEL DE LAS PROTEÍNAS EN EL RENDIMIENTO DEPORTIVO:
Análisis del consumo de proteína proveniente de fuentes vegetales y animales en tres disciplinas deportivas diferentes.
Emma Cantos Millán
Tutor: Daniel Capote Gómez.....105

"EL AIRE QUE RESPIRAMOS"
Víctor Castro Poveda
Tutota: Irene Nieto Cerezo.....131

TENGO UNA VACA…
Estudio sobre la expulsión de nitrógeno en las heces de los bovinos
Cecilia Gómez de Miguel
Tutor: Juan José Albaladejo Aparicio.....155

LA EUTANASIA A LOS DOS LADOS DEL OCÉANO
Estudio comparativo de la percepción de la muerte asistida en Canadá y España
Daniela Gutiérrez Arana
Tutora: Lola Moreno Frías.....181

DESARROLLO DE UN ROBOT EDUCATIVO PARA LA ASISTENCIA DOCENTE EN EDUCACIÓN SECUNDARIA
David Hernández Barquero
Tutora: Paola Pucci.....211

REMODELANDO LA HISTORIA LLEVÁNDOLE LA CONTRARIA A EUCLIDES: LA GEOMETRÍA NATURAL
Primera aproximación al estudio de arquitecturas históricas
Íñigo Herranz Lozano
Tutores: Antonio Rosellón Dueñas y Laura Lorenzo Higueras...237

LÍQUENES BIOINDICADORES DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE:
Estudio de su sensibilidad en la zona de La Jarosa (Guadarrama)
Julia Herruzo Ferrer
Tutora: Paola García Martínez 263

DEPORTE Y SALUD MENSTRUAL:
Más allá del Rendimiento.
Silvia Hervás Ibáñez
Tutora: Amaya Matos Yarza.....293

QUÍMICA DE ANDAR POR CASA
Carla López González
Tutor: Antonio Rosellón Dueñas.....321

MÁS ALLÁ DEL SABOR
La influencia del neuromarketing en nuestras decisiones de compra
Alba Martín Solera
Tutora: Lola Moreno Frías.....353

HOLOSCENE:
Explorando la holografía interactiva
Andrea Orsolya Kozmac
Tutora: Paola Andrea Pucci.....381

EL HÉROE EN TODAS LAS ANTIGÜEDADES
Erika Ovejero Díez
Tutora: Ana Genoveva Saénz-Messía Iriarte.....411

EL ALGORITMO DEL HIT VERANIEGO
Análisis de la *canción del verano* desde 1960 al presente
Leire Ovejero Díez
Tutora: Irene Nieto Cerezo.....429

"ROMPIENDO EL MITO DEL OTRO"
Educación sexual, masculinidad y otredad: un estudio sobre la relación entre el conocimiento del cuerpo masculino y la construcción de la empatía hacia las mujeres.
Claudia Roa López
Tutora: Andrea Carolin Mosquera Varas.....451

LA SALUD DEL PERRO:
El alimento canino bajo el microscopio y otros indicadores de bienestar
Emily Williams Martín
Tutoras: Jessica Gil Serna y Paola García Martínez.....481

NÚMERO DE ORO Y DISEÑO GRÁFICO:
Análisis de la proporción áurea en logotipos modernos
Lucía Zaera Peraita
Tutora: Rosa Mª Moraga González.....511

La investigación y el aprendizaje competencial

Mª Rosa Rocha del Lago (coord.)

EL VUELO

Por noveno año consecutivo nos complace presentar a la Comunidad Educativa y a todos aquellos interesados en las actividades de nuestro Centro, una nueva edición del libro que recoge los Proyectos de Investigación del IX Certamen "Carlota Riaño Lara" del IES Guadarrama.

Este año toma especial significado su nombre. Sería el año en que Carlota Riaño Lara, junto con toda la promoción de sus compañeros hubiese presentado su proyecto de investigación. El destino quiso que ella volara tempranamente, dejando a su paso la estela de un recuerdo sempiterno para todos aquellos que la conocieron.

Esta nueva hornada de jóvenes investigadores, en concreto veinticuatro, que está a punto de emprender su vuelo, de dejar lo conocido para hacer su propia incursión en un mundo de nuevas experiencias, en las que irán definiendo las líneas de sus vidas, en las que irán dibujando sus caminos, nos ha dejado su legado en estos proyectos de investigación que se han presentado ente curso.

En estos tiempos que a ellos les va a tocar vivir, donde no está de moda pensar, donde todo se consigue con un simple clic, donde las "inteligencias artificiales" crean lo que necesitamos en un brevísimo instante, donde la vida transita a un ritmo vertiginoso, ya lo decía el poeta: "coged las rosas mientras podáis, veloz el tiempo vuela, la flor que hoy contempláis mañana estará muerta", en estos tiempos de veloz vuelo, estos jóvenes investigadores se han tomado la molestia de dedicar parte de ese preciado tiempo a investigar sobre un variado elenco de temas.

Han desarrollado su creciente anhelo de saber y han profundizado en los entresijos de los diferentes matices de los proyectos que cada uno de ellos ha elegido, de manera genuina, saciando la curiosidad, mediante la investigación por su condición de seres humanos expectantes y ávidos de conocimiento.

Gracias a esa sucesión de preguntas que despiertan en ellos la curiosidad de saber y de investigar han elaborado estos trabajos, allanando el camino del progreso, de la investigación, abriendo nuevas vías para los que vengan detrás y, en definitiva, poniendo en práctica ese elemento tan genuinamente humano que es el desarrollo de un pensamiento propio, en estos tiempo en los que esto tan poco se estila.

En las páginas de este libro, en este vuelo imaginario que comienza aquí, se desarrolla precisamente eso: un ejercicio de plasmación de sus personalidades, de sus inquietudes y de su pensamiento particular, basado en análisis rigurosos, surcando el espacio que los lleva desde la tesis a la antítesis, eligiendo el camino más adecuado a seguir, desestimando los elementos que no les son útiles, descifrando los misterios de la realidad que los rodea y de ellos mismos como actores participantes en ella.

En estos trabajos de investigación, nuestros jóvenes alumnos se habrán encontrado con dudas, errores, con el sentimiento de abandono ante puertas que parecen infranqueables. Aun así han vuelto a levantar el vuelo cual Ícaro y no han sucumbido a los pequeños contratiempos que se les han presentado. Pero a diferencia de él han sabido manejar la información a la que han tenido acceso, para que sus alas no ardieran en la inmensidad de la misma. Este debe ser el camino a seguir desde la humildad y la sensatez. Porque todo ello forma parte del proceso de aprendizaje.

La investigación conlleva un elemento creativo que supone no ser simples espectadores de realidades y entornos. Investigar hace pasar al ser humano de ser un ente pasivo a ser un sujeto activo, que participa en el proceso de creación que conforma el progreso humano y lo acredita como ser trascendente, con un juicio crítico, personal e individual.

Lo verdaderamente importante es que estos alumnos y alumnas, en ese vuelo particular que han emprendido, han decidido no dejarse llevar por el viento que sopla, han querido tomar el timón de sus propias vidas, dando una oportunidad al potencial de sus cualidades y al valor de sus intelectos. Han apostado por el saber que nos hace partícipes de la inteligencia colectiva del ser humano, del conocimiento que ha hecho posible su progreso, del regusto necesario para saborear hasta el último matiz de las más sofisticadas formas de su inventiva o creatividad.

De esta manera hemos comprendido de la mano de Jorge Caballero los beneficios de tener una planta carnívora en casa, se come todos los insectos; Silvia Hervás nos ha ayudado a llevar mejor los dolores menstruales con el ejercicio que plantea en su canal de Youtube y le damos las gracias por ello; María Aláez ha puesto el dedo en la llaga con el tema de la violencia vicaria y las repercusiones que ello conlleva; Pablo Saura nos ha hecho ver lo felices que nos hace recibir un like y nos ha demostrado que debemos controlar nuestro tiempo en las redes para que no se convierta en una adicción; Andy Orsolya ha creado un holograma fantástico en el que nos hemos sumergido y disfrutado de él; David Hernández nos ha dejado impresionados con ese robot que habla con nosotros y que nos puede echar una mano en clase; Natnael Tobar nos ha advertido de las consecuencias de estar desinformados o de creernos todo lo que nos digan sin cotejarlo previamente; Cecilia Gómez ha analizado la manera más ecológica de tener explotaciones bovinas y ha dado visibilidad a los valientes que siguen con ellas en el campo; Sara Blanco nos ha transportado de la mejor manera posible con sus ovocitos felinos y nos ha dado las pautas de su óptimo almacenamiento; con Emma Cantos hemos aprendido cómo aprovechar mejor las proteínas provenientes de vegetales o de animales; el hambre emocional en adolescentes es un tema muy candente como nos ha demostrado Amanda Benito; con la belleza de su exposición Erika Ovejero nos ha acercado a la figura del héroe literario; Lucía Zaera nos deslumbró con su proporción áurea y los logotipos modernos; Marcos Moyano metió el dedo en la llaga con sus tintes naturales y sintéticos en los diferentes tejidos; Víctor Castro analizó el aire que respiramos; Leire Ovejero nos puso a mover el esqueleto con la canción del verano de diferentes épocas; con Alba Martín nos hemos dado cuenta de lo condicionados que estamos al comprar; Daniel Rozycki visualizó las ventajas del estado de "Flow"; Daniela Gutiérrez puso el foco en la comparativa del tratamiento de la eutanasia en dos países muy diversos; con Claudia Roa descubrimos la relación entre el cuerpo masculino y la empatía con el femenino; Emilly Willians nos habló de la salud del perro y de su bienestar alimenticio; Carla López llevó la química a nuestras casas; de la mano de Íñigo Herranz nos acercamos a la geometría natural; finalmente Julia Herruzo nos transportó con sus líquenes a La Jarosa.

El vuelo metafórico que hemos iniciado está llegando a su fin. Por eso me gustaría animar a los participantes de esta novena edición a seguir por este camino que han iniciado. Desearía que fuesen conscientes de que en estos tiempos en que las individualidades y la falta de empatía se imponen, en los que las miradas no buscan otras miradas sino pantallas, sus trabajos suponen un gran acto de generosidad hacia los que vienen siguiendo la estela que ellos están definiendo, ya que han dejado su legado para que otros puedan beber en él y puedan disfrutar de él.

Por este motivo es importante ser conscientes de que, los que disfrutemos con la lectura de estas páginas, debemos valorar el esfuerzo que supone realizar un trabajo de investigación y tenemos que apreciar el valor connotativo que hay detrás de todo ello.

En este vuelo es necesario agradecer y mencionar la labor de los profesores tutores de los trabajos de investigación que, sobrevolando con sus tutorados, son parte imprescindible de un vuelo exitoso y de unos resultados finales satisfactorios.

Vaya también nuestro agradecimiento al Ayuntamiento de Guadarrama, un año más, por su apoyo para que esta edición se convierta en una realidad que pueda surcar el cielo y llegar a todos nosotros para su disfrute.

Solo me resta decir que esperamos con impaciencia ya la nueva tanda de jóvenes investigadores, que recogen el testigo de sus antecesores, con una gran ilusión y con un gran deseo de dejar volar sus ideas y sus ansias de conocimiento.

Para terminar me gustaría cerrar este fantástico vuelo iniciático al que hemos asistido, dejando que cada uno siga su estela allá donde el destino lo lleve, con unos versos de Lorca:

Mariposa del aire,
qué hermosa eres,
mariposa del aire
dorada y verde.
Luz del candil, mariposa del aire,
quédate ahí, ahí, ahí…

In memoriam.

Yolanda Genicio Salomón.
Abril 2026

La Violencia vicaria:
la herida que no se ve, pero deja huella

Análisis sobre el desconocimiento social y las secuelas psicológicas en la infancia

María Aláez Canales

Tutora: María Sanjuán Bustos

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar me gustaría agradecer a mi tutora, María San Juan, que fue quien me propuso este tema de tanto interés para la sociedad y que siempre ha conseguido sacar aunque sea un ratito para escuchar todas mis propuestas.

Además, a mi familia y en especial a mi madre y a mi tío por confiar en mí cuando ni yo misma lo hacía y por apoyarme en los malos momentos de frustración y ayudarme en todo lo que les fuese posible.

A amigos por escucharme y proponerme ideas en todo momento.
También agradezco a Rosa Valle que con ella empezó todo y me permitió realizar este trabajo, a Andrea Mosquera que sin ser mi tutora y teniendo ella otros proyectos siempre me ha brindado su ayuda y conocimientos.

No me puedo olvidar dar las gracias a todas las personas que han dedicado su tiempo a realizar mis encuestas. Por supuesto agradecer a aquellas mujeres que aún doliendo les en el alma han sido capaces de responder a mis preguntas y narrar sus vivencias. Y a Rosalía González, presidenta de la asociación M.A.M.I, que, a pesar de sus numerosas responsabilidades, siempre me ha mostrado su total disposición para ayudarme en todo lo que he necesitado y me ha animado a continuar con esta labor fundamental.

A cada uno de ellos, mi más profundo agradecimiento por su contribución. Sin vosotros este trabajo no hubiera sido posible

ÍNDICE

1. Resumen.....14
2. Abstract.....14
3. Introducción.....15
3.1 Justificación e interés del tema.....15
3.2 Hipótesis.....15
3.3 Objetivos.....15
4. Marco teórico.....15
4.1 Violencia de género.....15
4.1.1 Concepto de violencia de género.....15
4.1.2 Causas y características.....16
4.1.3 Tipos.....16
4.2 Violencia Vicaria.....17
4.2.1 Desarrollo legislativo.....17
4.2.2 El falso síndrome de alienación parental.....18
4.2.3 ¿Cómo se manifiesta?.....19
4.2.4 Consecuencias de la violencia vicaria en menores.....19
4.2.5 Agentes y recursos de atención.....20
5. Metodología.....20
6. Análisis de datos.....20
6.1 Encuesta “La violencia vicaria”.....20
6.2 Encuesta “¿Cómo se vive la violencia vicaria?”.....24
6.3 Entrevista anónima a una madre que está sufriendo violencia vicaria.....28
6.4 Entrevista anónima a una persona adulta que sufrió violencia vicaria en su infancia.....29
6.5 Otros documentos que apoyan la hipótesis.....29
7. Conclusiones.....30
8. Próximas líneas de investigación.....31
9. Referencias bibliográficas.....31
Anexos.....33

1. Resumen

La violencia vicaria es un problema que afecta gravemente a nuestra sociedad, sin embargo, no hay una conciencia real del problema ni se le da la suficiente visibilidad, quedando enmascarado por otros casos más mediáticos. En la actualidad, un número muy significativo de menores se encuentran expuestos no solo a violencia física o psicológica, sino también a situaciones que ponen en riesgo sus vidas. Los niños/as que sufren esta violencia padecen graves problemas psicológicos que les afectan tanto a su desarrollo durante la infancia como posteriormente en su vida adulta, provocando que estos normalicen y repitan ciertos patrones vistos en sus padres, que son sus personas de referencia.

Esta investigación quiere demostrar el desconocimiento existente sobre la violencia vicaria y analizar cómo afecta a los más pequeños. Para ello, se han utilizado como métodos dos encuestas: una titulada "La violencia vicaria", en la que se han encuestado a un grupo amplio de edades; y otra titulada "¿Cómo se vive la violencia vicaria?", destinada a mujeres que han vivido de primera mano este tipo de violencia. Por otro lado, se han realizado dos entrevistas en las que se analizan los diferentes aspectos desde donde se puede vivir esta violencia: testimonio 1, "una madre que sufre violencia vicaria por parte de su expareja" y testimonio 2, "una mujer que durante su infancia convivió con esta violencia".

Mediante estos métodos se ha comprobado la necesidad de una mayor concienciación social y de un régimen jurídico más efectivo para poder atender de manera adecuada a las víctimas. Otro descubrimiento importante es que las mujeres se encuentran muy descontentas con la ayuda recibida por parte de los organismos competentes y judiciales. Se sienten totalmente desprotegidas, ellas y, sobre todo, sus hijos.

Los hallazgos resaltan la urgencia de un un mayor reconocimiento social de la problemática y un aumento en las medidas de protección, así como un aumento de profesionales en el ámbito judicial más formados en este campo.

Palabras clave: violencia vicaria, violencia de género, menores, maltrato, desconocimiento social, protección de menores, consecuencias psicológicas.

2. Abstract

Vicarious violence is a problem which seriously affects our society, nevertheless, there is not a real awareness of this problem and it does not get enough visibility, being masked by other media cases. Currently, there is a significant amount of minors who find themselves exposed, not only to physical or psychological violence, but also to situations where their lives are put in danger. The kids who suffer this violence develop serious psychological problems that affect them both, in their development during their childhood and later in their adult lives, moreover causing them to normalize and repeat certain behaviors which they saw in their parents, their reference people.

Through this research I wanted to demonstrate ignorance about the vicarious violence and analyze how it affects the little ones. In order to do this, two surveys have been carried out: one named "The vicarious violence" which has had a wide range of ages as respondents; and another one named "How is vicarious violence experienced?", intended for women who have experienced first hand this type of violence. On the other hand, two interviews have been carried out in which the different aspects from where you can live this violence have been analyzed: testimony 1, "a mother who suffers vicarious violence from her ex-partner" and testimony 2, "a woman who lived with this violence during her childhood".

Through these methods it has been confirmed the need for greater social awareness and a more effective legal regime that can adequately help the victims. Another important discovery is that women are really unhappy with the help they receive from the justice system. They feel completely unprotected, them and, especially, their children.

The findings highlight the urgency of a greater social recognition of this problem and an increase of protection measures, on top of that, the need of professionals in the judicial field more trained in this aspect.

Keywords: vicarious violence, gender-based violence, minors, abuse, social unawareness, child protection, psychological consequences.

3. Introducción

3.1 Justificación e interés del tema

Desde 2003, en España, un total de 1342 mujeres han sido asesinadas a manos de sus parejas o exparejas. Solo en lo que va de este año el número asciende a 47. En cuanto a menores, son 65 las víctimas mortales vinculadas a la violencia de género desde 2013. Con estas cifras queda en evidencia que, a pesar de los avances, todavía queda mucho por recorrer y los objetivos están muy lejos de ser alcanzados.

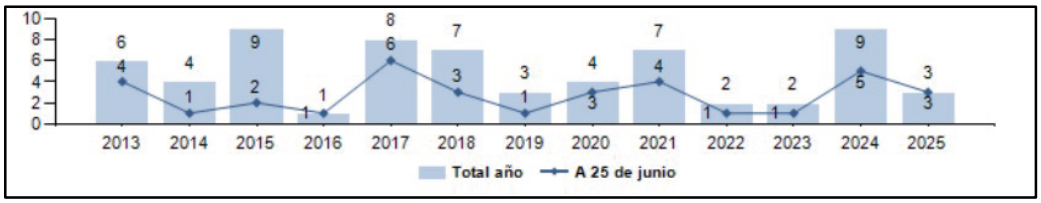


Figura 1: Ministerio de Igualdad. (2025). Total menores de edad víctimas mortales 2013–2025 [Gráfico]. Delegación del Gobierno contra la Violencia de Género. Fuente:https://violenciagenero.igualdad.gob.es/wp-content/uploads/Vmenores_2025_act_15_10_2025.pdf

El objetivo de este trabajo es dar visibilidad a estas mujeres y en especial a la violencia vicaria, conocida también como "violencia desplazada" en la que el maltratador trata de hacer daño a la mujer mediante lo que más quiere, sus hijos.

Los menores son conocidos como "víctimas invisibles", aunque se pretende herir a la mujer, el daño repercute directamente sobre ellos. Se ha puesto a disposición de las mujeres que sufren malos tratos recursos que pretenden garantizar su bienestar físico y emocional; sin embargo, las medidas para proteger a la población infantil son escasas. Por ello, se llevará a cabo un análisis del marco legal que les protege, las secuelas físicas, emocionales, cognitivas y conductuales que presentan.

3.2 Hipótesis

La población no sabe qué es exactamente la violencia vicaria y los graves efectos psicológicos que a largo plazo pueden provocar, especialmente en los niños y niñas.

¿Hasta qué punto se tiene conocimiento de la violencia vicaria? Para la gran mayoría será un tema desconocido, solo aquellos que lo hayan sufrido o vivido de cerca lo conocen.

3.3 Objetivos

El objetivo general del trabajo es analizar la falta de conocimiento sobre el término "violencia vicaria" y poner de manifiesto su importancia, así como las graves repercusiones en la infancia y adolescencia de quienes se ven obligados a vivir estas situaciones a edades tan tempranas y vulnerables. Por lo que se requiere una mayor concienciación social, ya no solo por parte de la sociedad en su conjunto sino de los profesionales formados en este campo. A partir de este objetivo general se plantean una serie de objetivos específicos orientados a describir las secuelas físicas y psicológicas de los menores junto con la falta de aplicación de las normas que amparan a las víctimas profundizando en los fallos en el sistema de protección. La finalidad del presente estudio plantea proponer posibles líneas de actuación y mejoras en las medidas de protección y prevención, de modo que se cuente con una respuesta más eficaz y contundente frente a la violencia vicaria.

4. Marco teórico

4.1 Violencia de género

4.1.1 Concepto de violencia de género

La violencia de género es un fenómeno muy complejo que surge como consecuencia de la desigualdad histórica que posiciona a la mujer socialmente en desventaja frente al hombre. Dicha situación proviene de diferentes creencias, prácticas, roles preestablecidos o tradiciones culturales tanto individuales como colectivas. Puede adoptar múltiples manifestaciones, lo que genera cierta ambigüedad a la hora de definirla, ya que puede encontrarse expresada de diversas formas. En términos generales, se podría resumir como la que se ejerce atentando al bienestar físico, psíquico o emocional de una persona a causa de su sexo con el propósito de causar daño, ejercer coacción, restringir o manipular a la persona afectada. Es decir, cualquier acto que atente a los derechos humanos fundamentales, ya sean la vida, la libertad… Que haya variabilidad en la manera en la que se puede encontrar representada es lo que produce una multitud de definiciones, por ello se puede resaltar la dada por las Cortes Generales de España:

La ley Orgánica 1/2004, en su artículo 1.1., define la violencia de género como "una manifestación de la discriminación, la situación de desigualdad y las relaciones de poder de los hombres sobre las mujeres, que se ejerce sobre estas por parte de quienes sean o hayan sido sus cónyuges o de quienes estén o hayan estado ligados a ellas por relaciones similares de afectividad, aun sin convivencia. Comprende todo acto de violencia física y psicológica, incluidas las agresiones a la libertad sexual, las amenazas, las coacciones o la privación arbitraria de libertad" Boletín oficial del Estado, *313*, de 29 de diciembre de 2004.

Esta definición, adoptada por el Ministerio de Igualdad, subraya el carácter estructural de la violencia de género como resultado de relaciones desiguales de poder, propias de la sociedad patriarcal en la que vivimos. En este sentido, y como indica el Instituto de la Mujer, "la mujer, por el mero hecho de serlo ya sufre desigualdad y violencia".

En resumen, es la violencia que se dirige a individuos o grupos sobre la base de su género.

4.1.2 Causas y características

Antes de abordar la violencia de género hay que entender a qué se debe la existencia de este fenómeno. Como se ha dicho anteriormente, la violencia de género hace referencia a una situación de desigualdad de poder debido a creencias culturales de la Antigüedad que posicionan a la mujer por debajo del hombre. Actualmente, vivimos en una sociedad patriarcal, lo que refuerza esas creencias. Algunos ejemplos de ella son la de conformarse con una peor remuneración por su trabajo que sus compañeros varones; la supuesta obligación de encargarse de las labores del hogar, de los niños y mayores, mientras el hombre se abstiene de estas actividades. Este escenario es el denominado "mito romántico", considerados un conjunto de creencias socialmente compartidas, sobre la "supuesta verdadera naturaleza del amor" (Yela, 2003, p.264). Normalmente son ficticios, engañosos, absurdos, irracionales e imposibles de cumplir. Consiste en un modelo de relación idílica que es imposible de conseguir lo que genera frustración, insatisfacción y sufrimiento. Estos mitos han sido impulsados desde el ámbito religioso ya que impulsa la subordinación de la mujer, así como la consolidación de roles tradicionales en la pareja y el matrimonio. Refuerza la idea de una mujer sumisa y cuidadora, dejando al hombre como héroe, protector y dominante. También está profundamente impulsado por la educación diferenciada que refuerza los estereotipos tradicionales de los que se ha hecho referencia anteriormente. Educando desde edades muy tempranas, el problema de esta culturización comienza cuando la mujer se aleja de ese estereotipo, y el hombre responde con violencia.

Estas ideologías y roles de género, que han sido transmitidos mediante la educación, la religión y la cultura, son la fuente de las teorías que buscan explicación al comportamiento del hombre, pero no la única. También se encuentra el modelo derivado de las relaciones intrafamiliares, que trata de explicar cómo los malos tratos son debidos a situaciones familiares inadecuadas provocando patrones equivocados en las relaciones. Por último, se hablará de la teoría individual, que considera aspectos como cambios tempranos de la personalidad, ciertas predisposiciones biológicas o las experiencias violentas vividas, que podrían contribuir a entender este comportamiento.

4.1.3 Tipos

Podemos encontrar diferentes manifestaciones de este abuso hacia la mujer, ya sea física, psicológica/emocional, económica, estructural o sexual. Antes se reducía a física y sexual, pero después del Informe del grupo de especialistas para combatir la violencia contra las mujeres del Consejo de Europa (1997) se reconoció la existencia de más, concretamente 6, a los que se ha referido anteriormente. para combatir la violencia contra las mujeres del Consejo de Europa (1997) se reconoció la existencia de más, concretamente 6, a los que se ha referido anteriormente.



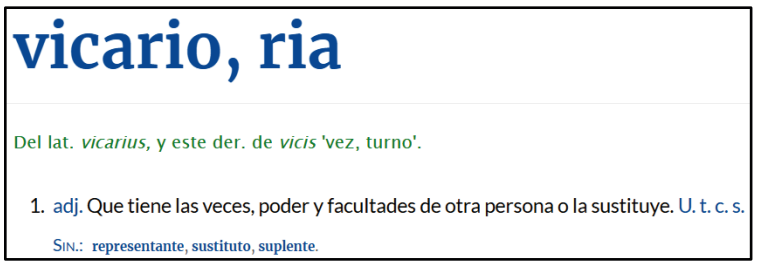
Figura 2: Tipos de violencia de género. Elaboración propia a través de inteligencia artificial.

- Violencia física: Como bien dice la palabra es cualquier agresión tendente a causar daño a la víctima, ya sean agarrones, manotazos, tirones de pelo, arañazos, hasta incluso el asesinato.
- Violencia sexual: Suele venir acompañada de la física, pero hace relevancia a todo acto sexual forzado en contra de su voluntad.
- Violencia psicológica: En ocasiones no es fácil de detectar, dado que se puede manifestar de manera directa a través de insultos, vejaciones o de manera indirecta mediante menosprecios, humillaciones, faltas de respeto, amenazas, formas de control y sumisión…
- Violencia económica: Se basa en la restricción injustificada del manejo de bienes, recursos patrimoniales o derechos económicos en el ámbito de la pareja o tras la ruptura como medio de coacción. También incluye la prohibición de trabajar o formarse.
- Violencia patrimonial: Consiste en apropiarse o destruir los bienes o propiedades de la víctima con el fin de dominarla o de producirle daño psicológico.
- Violencia social: Se produce cuando la pareja le impide relacionarse, aislándola o alejando la de familiares y amigos para que se quede sin recursos ni apoyo.

Además, cabe resaltar que la violencia vicaria se considera dentro de la violencia de género, ya que su misión es causar daño a la mujer.

4.2 Violencia vicaria

En el sentido más estricto de la definición de la violencia vicaria, se señala que el hombre pretende hacer daño a la mujer mediante sus seres queridos y, en especial, mediante sus hijos e hijas. La raíz de "vicaria" proviene del latín vicarius, que significa representante, sustituto o suplente; en su día relacionado con el ámbito eclesiástico.


vicario, ria

Del lat. *vicarius*, y este der. de *vicis* 'vez, turno'.

1. adj. Que tiene las veces, poder y facultades de otra persona o la sustituye. U. t. c. s.

SIN.: representante, sustituto, suplente.

Figura 3: Definición vicario,ria. Fuente: https://dle.rae.es/vicario

El objetivo es la mujer, a quien se quiere hacer daño a través de terceros, por ello también se la conoce como violencia desplazada. Lo más frecuente es la utilización de los descendientes para producir dolor a la mujer, ya sea físicamente, agrediéndolos, pudiendo incluso llegar a atentar contra su vida, siendo esta su manifestación más extrema, o psicológicamente, enfrentandolos contra la madre para que rechacen su figura.

Se dice que esta es una de las violencias más crueles porque es la que más dolor produce y deja más víctimas por el camino.

4.2.1 Desarrollo legislativo

En España, la violencia vicaria ha sido reconocida muy recientemente en el ordenamiento jurídico a pesar del estudio de esta problemática, es en los últimos años cuando ha cobrado más fuerza y se le ha dado una mayor visibilidad e importancia. En consecuencia, hoy en día todavía tiene limitaciones en su sistema de regulación y protección. A continuación, se revisará la legislación que aborda este fenómeno y su evolución en este contexto.

El origen en la legislación sobre la violencia vicaria en España fue "La Ley Orgánica 1/2004, del 28 de diciembre, de Medidas de Protección Integral contra la Violencia de Género". Recoge que no solo la mujer es víctima de este tipo de violencia, también lo son sus hijos e hijas pero se les contemplaba más como "testigos" y no como víctimas directas. Esto se debía a que el término "violencia vicaria" no estaba incluido, ya que como tal se acuñó en 2012, por Sonia Vaccaro, psicóloga clínica y forense:

"Es aquella violencia que se ejerce sobre los hijos/as para herir a la mujer. Es una violencia secundaria a la víctima principal, que es la mujer. Es a la mujer a la que se quiere dañar y el daño se hace a través de terceros, por interpósita persona. El maltratador sabe que dañar o asesinar a los hijos/hijas es asegurarse de que la mujer no se recuperará jamás" (Sonia Vaccaro, 2016).

Posteriormente, en 2015, se reformuló esta ley después del dictamen del Comité CEDAW (Comité para la Eliminación de la Discriminación contra la Mujer), con el objetivo de reconocer la Violencia Vicaria como otra manifestación de violencia hacia la mujer. De esta manera, en ley orgánica del 8/2015 , en el artículo 1.4: "La violencia de género

a la que se refiere esta Ley también comprende la violencia que con el objetivo de causar perjuicio o daño a las mujeres se ejerza sobre sus familiares o allegados menores de edad por parte de las personas indicadas en el apartado primero". Boletín Oficial del Estado, *87*, de 12 de abril de 2005.

Con esta normativa se hacen modificaciones tanto en el Código Civil como en el enjuiciamiento civil para una mayor y mejor protección de las personas afectadas. Además, los cambios introducidos desarrollan y refuerzan el derecho del menor a que su interés superior sea prioritario. Aunque se hace alusión al daño de los allegados, sigue sin aparecer el término "violencia vicaria".

En 2017 se aprobó el Pacto de Estado contra la Violencia de Género firmado por todos los partidos con el propósito de unificar la acción de las instituciones, asegurar la financiación de las medidas y ampliar la protección frente las nuevas formas de violencia y sobre los afectados/as. Este Pacto pretende ayudar a los menores como víctimas directas de este maltrato, siendo el primer documento legal en el que se les reconoce de manera explícita.

Es de señalar la aprobación en 2018 del Real Decreto-ley 9/2018, de 3 de agosto, de Medidas Urgentes para el Desarrollo del Pacto de Estado contra la Violencia de Género: modificación del Artículo 156 , incorporándose la propuesta nº 148 del Código Civil en referencia a la asistencia psicológica a menores víctimas de violencia de género, que señala que si uno de los dos progenitores solicita asistencia psicológica para el menor se le proporcionará debido a la situación de violencia y no será necesario el consentimiento de ambos. Antes de esta variación, se podía impedir la ayuda psicológica de los menores utilizando la patria potestad, por lo que ahora se garantiza que los hijos e hijas puedan recibir el apoyo que necesitan.

Finalmente, en 2021, en la Ley Orgánica 8/2021 de 4 de junio, de protección integral a la infancia y la adolescencia frente a la violencia, por primera vez se incorpora el concepto de violencia vicaria. En esta ley se reconoce la violencia vicaria como un atentado contra la infancia y se establece un sistema de prevención, detección precoz y atención en todos los ámbitos (familiar, educativo, sanitario, digital y judicial). Esto representó un salto cualitativo en la protección de las personas en situación de especial vulnerabilidad.

En la actualidad, el 30 de septiembre de 2025, se ha aprobado en el Consejo de Ministros un anteproyecto de la Ley Orgánica de medidas en materia de violencia vicaria. Este la define y tipifica con penas específicas y medidas civiles reforzadas, también pretende modificar el Código Penal para prohibir la publicación o difusión de contenidos que "den voz a los asesinos", también se modifica el Código Civil para escuchar a los hijos menores a la hora de su guardia y custodia.

4.2.2 El falso síndrome de alienación parental

En el contexto de la violencia vicaria es necesario hablar acerca del término "síndrome de alienación parental". Fue creado por el psiquiatra estadounidense Richard Alan Gardner en 1985. Según Gardner, este "síndrome" consiste en un lavado de cerebro llevado a cabo por la madre para poner al hijo o a la hija en contra del padre; "el SAP es un lavado de cerebro al cual uno de los padres - generalmente la madre -, somete al hijo/a en contra del otro progenitor - generalmente el padre- logrando de este modo alienar, quitar a ese padre de la vida del hijo/a, para hacerlo desaparecer, pudiendo llegar el niño o la niña hasta a creer que su padre abusó sexualmente de él/ella".

En consecuencia, propuso también una solución para acabar con el SAP denominada "terapia de la amenaza", y buscaba quitarle la guarda y custodia del niño o de la niña a la madre y entregársela al padre, eliminando también cualquier tipo de contacto entre la madre y el menor.

Con el tiempo, Richard logró que este "síndrome" apareciera en los tribunales con el objetivo de desprestigiar los testimonios de las madres, dejándolas como manipuladoras del menor para ponerlos en contra del padre, quien es la verdadera "víctima" a pesar de tener denuncias previas de maltrato.

Hablamos de "supuesto síndrome" porque no es un síndrome como tal ya que carece de aval científico que sustente su existencia. Incluso sabiendo esto, cada vez son más los/las jueces/juezas y tribunales que lo alegan como causa y fundamento legal para atribuir o quitar la guarda y custodia de los menores, reforzando así una línea argumental machista creada por los maltratadores y acatada por los juristas.

De esta manera, obligan a los/las menores a convivir con un maltratador, basándose en un síndrome inexistente y desprestigiando a la mujer.

4.2.3 ¿Cómo se manifiesta?

Esta violencia es más común cuando el maltratador ya no tiene acceso directo a la mujer, por lo que para seguir ejerciendo control y ocasionando sufrimiento hacia la mujer, utiliza a sus criaturas, ya no los ve como personas sino como simples objetos o instrumentos para producir dolor, aprovechándose del cariño que tienen sus madres hacia ellos.

TIPOS DE EXPOSICIÓN	¿QUÉ SON?
Perinatal	Violencia física/psicológica/sexual hacia la mujer en el periodo del embarazo
Intervención	Violencia cuando el menor quiere proteger a su madre
Victimización	Ser objeto de violencia psicológica o física en una agresión a la adulta
Participación	Colaborar en las desvalorizaciones hacia la madre, siendo los menores cómplices
Testificación Presencial	El menor se encuentra cerca durante la agresión a la madre
Escucha	El niño/a oye la agresión
Observar los resultados inmediatos de la agresión	El menor observa heridas o moratones en su madre, mobiliario roto, ambulancias, policía...
Experimentar las secuelas	El menor experimenta la violencia, la separación, el cambio de residencia...
Escuchar lo que sucede	El menor es consciente de las consecuencias al escuchar conversaciones
Ignorar los acontecimientos	El menor no es consciente de lo que sucede porque se realiza lejos del hogar

Figura 4: Tipos de exposición a los que pueden enfrentarse los/as menores víctimas de violencia de género. Fuente:https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/57062/TFG-G5747.pdf?sequence=1&isAllowed=y

4.2.4 Consecuencias de la violencia vicaria en menores

Los infantes pueden recibir la violencia principalmente de dos maneras, de forma directa o indirecta. Directa, cuando son el objeto de la violencia, ya sea sufriendo el mismo maltrato que la madre o como medio para causar dolor a la mujer, ya no sólo con amenazas sino también manipulando para ponerlo en su contra; e indirecta cuando no son participes de manera activa pero ven lo que sucede. La exposición de este tipo de violencia en los menores puede producir consecuencias psicológicas irreversibles puesto que se encuentran en una etapa delicada de su desarrollo psicológico, por lo que ver este tipo de conductas es más perjudicial aún.

Al igual que encontramos dos formas de violencia a las que se ven expuestos, según estas se producen unas consecuencias u otras:

Violencia directa:

- Cognitivas: Deterioro de la capacidad de atención y concentración, lo que provoca un descenso del rendimiento académico, además de retrasos en el desarrollo del lenguaje.
- Conductuales: Inmadurez, problemas en las relaciones sociales, conductas agresivas e incluso delictivas.
- Emocionales: ansiedad, trastornos de estado de ánimo como depresiones, baja autoestima, estrés postraumático.
- Físicas: trastornos del sueño y alimentación, retraso en el crecimiento y en el desarrollo motor, desde lesiones e incapacidad, hasta la muerte.

Violencia indirecta:

Aunque no hayan sufrido agresiones o insultos, el hecho de que hayan presenciado o escuchado actitudes por parte del maltratador, les genera repercusiones psicológicas, lo que también se considera una forma de maltrato infantil, definido por la Convención Internacional de los Derechos del Niño como “violencia mental”.

Según Kitzmann KM (45), cada vez hay más evidencia de que los menores que presencian actos violentos en sus hogares tienen un mayor riesgo de presentar problemas psicosociales, incluso cuando ellos no son propiamente el objeto del maltrato ejercido por parte de sus padres. Las secuelas manifestadas en niños testigos de violencia de género son muy semejantes a las consecuencias detectadas en los menores víctimas directas de maltrato (p.45, 46).

Las consecuencias están relacionadas con el hecho de que no hayan crecido en un entorno adecuado, con un padre con el que tengan una relación cercana. Esto les va a ocasionar dificultades a la hora de establecer relaciones de afectividad. Por otro lado, las madres se encuentran devastadas a nivel físico y emocional, de manera que no pueden satisfacer las necesidades afectivas de sus hijos/as adecuadamente.



Figura 5: Gráfico del círculo interactivo de la violencia familiar. Fuente: https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/57062/TFG-G5747.pdf?sequence=1&isAllowed=y

4.2.5 Agentes y recursos de atención

En España existe una gran variedad de recursos tanto públicos como asociaciones externas para la protección de las víctimas. En referencia a los públicos, se puede acceder a través de una llamada al 016, servicio disponible las 24 horas del día, todos los días de la semana, está disponible en 53 idiomas y es accesible a las personas con discapacidad. Una llamada a este número activa la puesta en marcha de todos los recursos, ayudas y derechos que el sistema garantiza.

Las víctimas de violencia de género cuentan con servicios especializados en atención y protección. Se puede destacar ATENPRO, que proporciona a la mujer un dispositivo telefónico con localización GPS para garantizar una respuesta inmediata en situaciones de emergencia. Asimismo, la policía realiza un seguimiento constante y el juez puede imponer una orden de alejamiento u otras medidas cautelares para la tranquilidad de los afectados. También cabe resaltar el asesoramiento jurídico y psicológico.

Por otro lado, los menores cuentan con plazas específicas en recursos de protección, atención psicológica con el consentimiento de un progenitor hasta los 16 años, y medidas judiciales que pueden suspender o limitar el régimen de visitas del agresor.

En referencia a las asociaciones cabría destacar la Asociación M.A.M.I, Asociación Victoria, Asociación Por Ti Mujer, Asociación ANAR, entre otras. Que tienen funciones similares a las públicas como son el apoyo, el asesoramiento y la protección.

Las asociaciones privadas ofrecen un apoyo integral en diversos sectores, que cubre desde la atención inmediata, dando refugio temporal seguro, cubriendo sus necesidades, hasta el acompañamiento psicológico, ofreciendo terapias individuales y grupales de fortalecimiento de la autoestima. En el ámbito jurídico, ofrece gratuitamente asesoramiento sobre derechos, procesos de denuncias, custodias, separaciones. También en lo social y educativo con acompañamientos socioeducativos, talleres para mujeres y niños víctimas.

Además muestran a mujeres que han logrado salir de esta violencia para inspirar a otras y que vean que se puede superar. En muchas ocasiones estas asociaciones realizan una función primordial, accediendo a víctimas a las que las instituciones no llegan, cubriendo las funciones propias de los organismos públicos.

5. Metodología

Para validar experimentalmente la hipótesis, se han realizado dos encuestas, la primera más amplia y genérica destinada a un grupo de personas de todo tipo, edad, sexo y género para comprobar el conocimiento de la sociedad acerca de la existencia de la violencia vicaria, y otra más específica destinada a mujeres que la han sufrido para comprobar desde su persdpectiva las consecuencias que sufren sus hijos.

6. Análisis de datos

6.1 Respuestas de la encuesta: La violencia vicaria

SEXO DE LAS PERSONAS QUE HAN RESPONDIDO AL CUESTIONARIO:

Se ha obtenido un mayor número de respuestas de mujeres que de hombres. Con un 60,2% siendo mujeres y un 39,8% hombres.

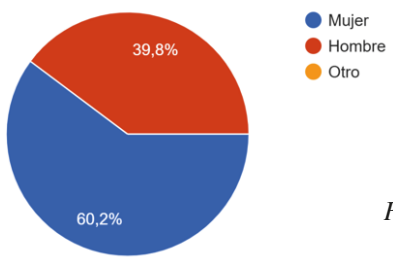


Figura 6: Gráfica sexo. Elaboración propia.

EDAD DE LAS PERSONAS QUE HAN RESPONDIDO AL CUESTIONARIO:

Las edades se agruparon en los rangos de 12–17, 18–29, 30–44, 45–65 y 65 años o más. La mayoría de las respuestas se concentró en el grupo de 45 a 65 años, mientras que el de 65 años o más representa una minoría.

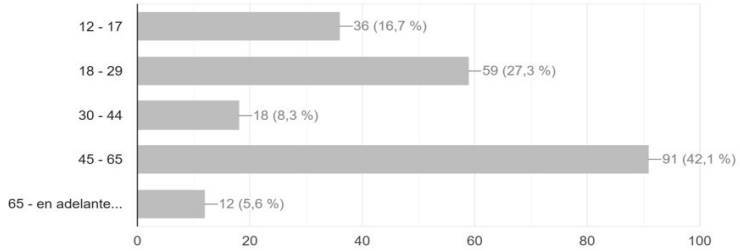


Figura 7: Gráfica edad. Elaboración propia.

PERSONAS QUE SABEN DE LA VIOLENCIA VICARIA:

En la siguiente gráfica se puede observar que un 54,2% de los encuestados tiene conocimiento del término; mientras que un 45,8% lo desconoce o no lo tiene claro. De manera que hay un gran porcentaje de los encuestados que no tiene conciencia de lo que está sucediendo.

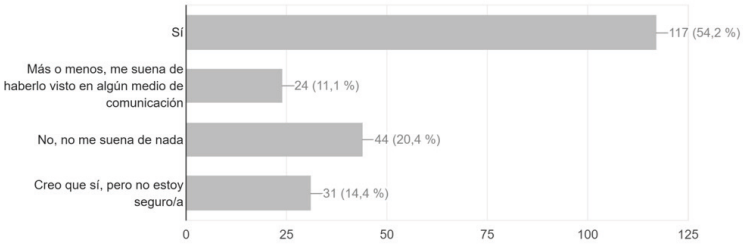


Figura 8: Gráfica conocimiento sobre el término violencia vicaria. Elaboración propia.

PERSONAS QUE CONOZCAN ALGÚN CASO MEDIÁTICO

De las 216 personas que respondieron al cuestionario, la mitad conocía algún caso mediático y la otra mitad no.

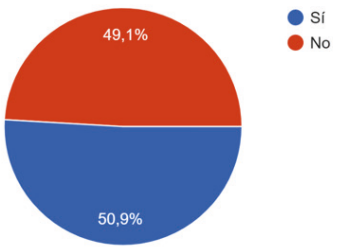


Figura 9: Gráfica personas que conocen algún caso mediático de violencia vicaria. Elaboración propia.

¿QUÉ FORMA DE VIOLENCIA ES LA VIOLENCIA VICARIA?

En la siguiente gráfica se puede observar que 54,6% de los encuestados sí sabía que la violencia vicaria es una forma de violencia de género; mientras que un 31,9% pensaba que era violencia filio-parental [1] ; un 13% la identificaba como violencia doméstica; y un 0,5% equivalente a una persona, creía que era violencia sanitaria.

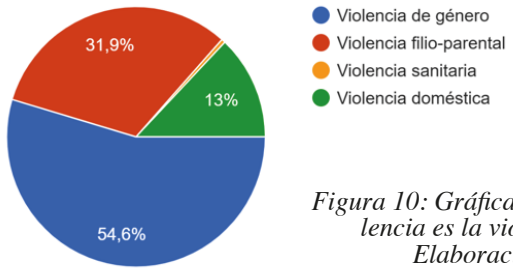


Figura 10: Gráfica ¿Qué forma de violencia es la violencia vicaria? Elaboración propia.

¿A QUIÉN TIENE COMO VÍCTIMA LA VIOLENCIA VICARIA?

Algo más de la mitad de los participantes ha respondido correctamente a la pregunta, afirmando que la violencia vicaria tiene como víctima a la mujer y los hijos/as. Sin embargo, también ha habido un alto porcentaje que ha contestado que solo los hijos/as, pero no son solo ellos los que sufren el abuso, ya que el fin último es dañar a la madre, además de que en la mayoría de casos ella también recibe violencia. En menor porcentaje, un 16,2% ha respondido que tiene como víctima a la mujer, lo que es cierto, pero no es únicamente ella sino que sus hijos/as también. Por último, un 1,9% respondió el hombre.

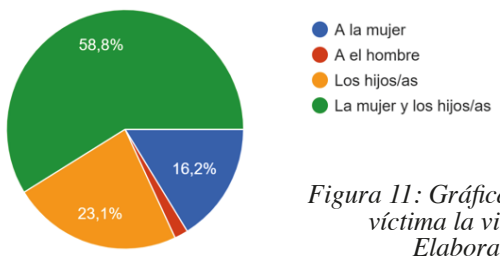


Figura 11: Gráfica ¿A quién tiene como víctima la violencia vicaria? Elaboración propia.

PERSONAS QUE UNA VEZ DEFINIDO EL CONCEPTO SABÍAN LO QUE ERA:

A los participantes se les dio la definición de violencia vicaria y un 65% contestó que era lo que pensaba; un 19,4% no lo tenía claro; y un 15,3% no lo sabía.

1 Violencia filio-parental: es un tipo de violencia que se da de los hijos/as hacia sus figuras parentales.

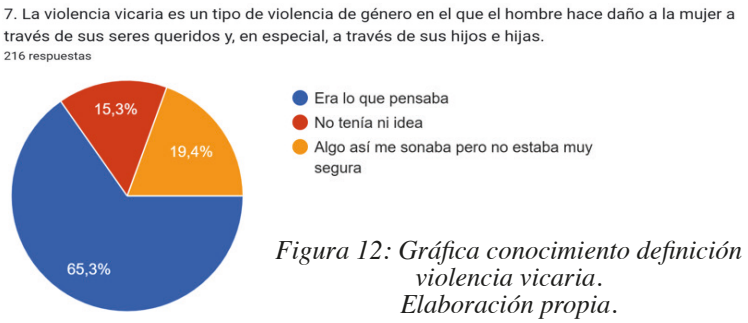


Figura 12: Gráfica conocimiento definición violencia vicaria. Elaboración propia.

¿CREES QUE LA VIOLENCIA VICARIA SOLO SE MANIFIESTA CON EL ASESINATO DE LOS SERES QUERIDOS DE LA VÍCTIMA?

Se observa que un 16,7% de los encuestados consideró que el asesinato era la única manifestación de la violencia vicaria, mientras que un 83,3% consideró que esta violencia puede manifestarse de otras formas.

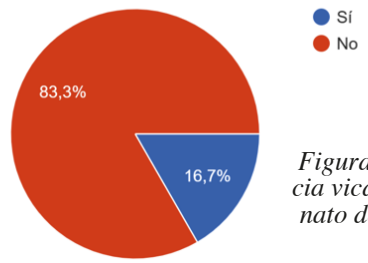


Figura 13: Gráfica ¿Crees que la violencia vicaria solo se manifiesta con el asesinato de los seres queridos de la víctima? Elaboración propia.

¿QUÉ TIPOS DE VIOLENCIA VICARIA CREES QUE PUEDEN EXISTIR?

Como se puede observar en la siguiente gráfica, una vez definida la violencia vicaria, la mayoría de los participantes identificó correctamente algunas de sus manifestaciones. La manipulación de los hijos/as para ponerlos en contra de la madre fue seleccionada por un 92,1% de los encuestados. De manera similar, la amenaza de llevarse a los niños y niñas fue elegida por un 91,2%. Por otro lado, el asesinato también representa una de las más seleccionadas, con un 88,4%. El uso del sistema judicial para seguir dañando, presentando denuncias falsas contra la madre, fue señalado por el 80,1% de los participantes. Finalmente, la manifestación mediante la interrupción de tratamientos médicos o farmacológicos obtuvo un menor porcentaje de respuestas, con un 75%.

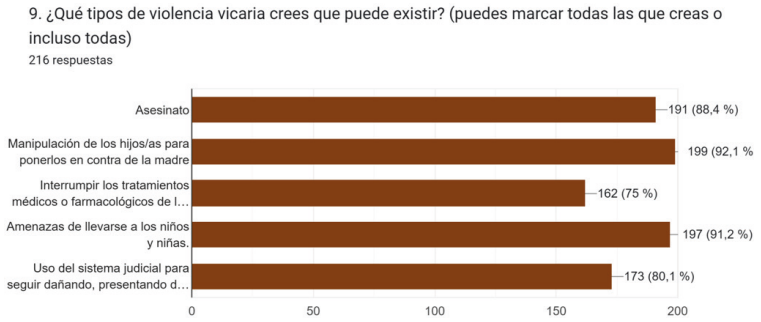


Figura 14: Gráfica ¿Qué tipos de violencia vicaria crees que puede existir? Elaboración propia.

¿CONSIDERAS QUE LOS ORGANISMOS PÚBLICOS (POLICÍAS, JUECES, SERVICIOS SOCIALES..) DAN LA DEBIDA VISIBILIDAD A LA VIOLENCIA VICARIA?

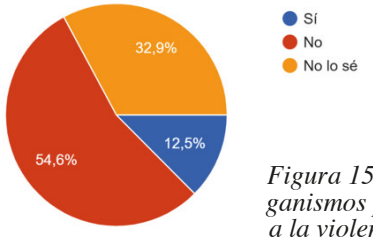


Figura 15: Gráfica ¿Consideras que los organismos públicos dan la debida visibilidad a la violencia vicaria? Elaboración propia.

El 54,6% de los participantes respondió que no se le da la suficiente visibilidad; un 32,9% no lo tenía claro y un 12,5% consideró que sí se le otorgaba la visibilidad adecuada.

¿ PIENSAS QUE ES UN PROBLEMA QUE AFECTA A LA SOCIEDAD ACTUAL?

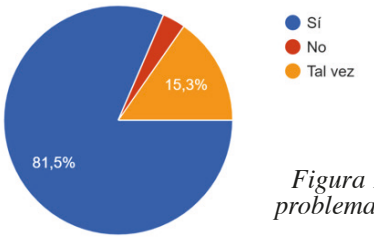


Figura 16: Gráfica ¿Piensas que es un problema que afecta a la sociedad actual? Elaboración propia.

La mayoría de los encuestados responden que la violencia vicaria sí es un problema que afecta actualmente a la sociedad. En este año son 3 los menores que han sido asesinados a manos de sus padres, y 65 desde 2013. Esto pone de manifiesto que es un problema muy actual.

¿OPINAS QUE DEBERÍA EXISTIR UNA LEY INDEPENDIENTE, ES DECIR, QUE SE FOCALICE SÓLO EN LA PROTECCIÓN DE LOS MENORES CON RESPECTO A ESTA VIOLENCIA?

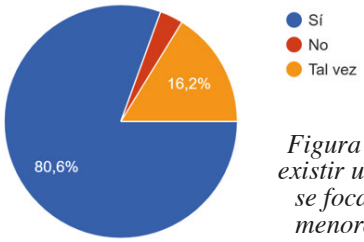


Figura 17: Gráfica ¿Opinas que debería existir una ley independiente, es decir, que se focalice sólo en la protección de los menores con respecto a esta violencia? Elaboración propia.

Además de los resultados de la encuesta, en la que se puede apreciar que el 80,6% respalda la creación de una normativa específica dirigida a la infancia, confirmando la opinión de especialistas y organismos que han señalado también esta necesidad. En el **Anteproyecto de Ley de Medidas en materia de Violencia Vicaria** (aprobado por el Gobierno en 2025), se hace hincapié en las deficiencias del sistema actual y la necesidad de una regulación concreta y adaptada a las necesidades de los menores. Por su parte, el informe del Defensor del Pueblo de noviembre de 2024, "Violencia vicaria de género. Las otras víctimas", remarca la escasa visibilidad de la violencia vicaria, así cómo la falta de herramientas para su detección temprana y la fragmentación judicial que dificulta una intervención coherente. A esto se suma la insuficiente coordinación entre los distintos ámbitos institucionales y la falta de formación especializada. Por lo que propone la creación de un registro centralizado y un Plan de Acción Nacional que garantice una respuesta más eficaz y coordinada.

¿DIRÍAS QUE LA VIOLENCIA VICARIA CREA SECUELAS EN LOS NIÑOS QUE PUEDEN AFECTAR A SU DESARROLLO PSICOAFECTIVO?

Tal como se puede apreciar en la gráfica, la inmensa mayoría considera que la violencia vicaria sí produce secuelas que pueden llegar a afectar negativamente en el desarrollo psicoafectivo de los niños/as. El porcentaje mayoritario (98,6%) indica una clara percepción social acerca de las consecuencias emocionales y psicológicas que genera en los menores.

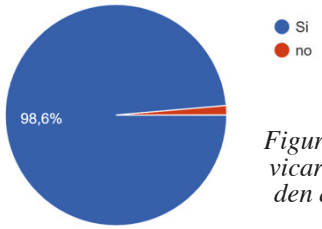


Figura 18: Gráfica ¿Dirías que la violencia vicaria crea secuelas en los niños que pueden afectar a su desarrollo psicoafectivo? Elaboración propia.

¿POR QUÉ CREES QUE LA VIOLENCIA VICARIA SOLO TIENE QUE VER CON LA EJERCIDA DEL HOMBRE HACIA LA MUJER?

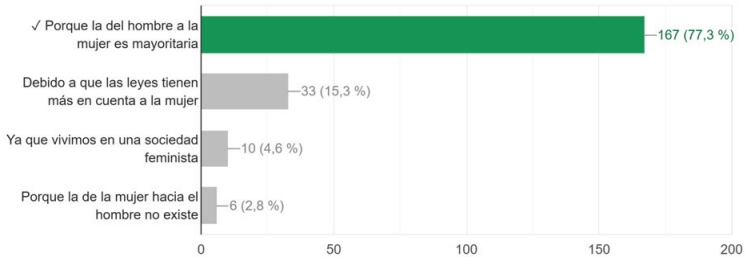


Figura 19: Gráfica ¿Por qué crees que la violencia vicaria solo tiene que ver con la ejercida del hombre hacia la mujer? Elaboración propia.

La mayoría de los encuestados responde que la violencia vicaria "solo" tiene que ver con la ejercida por hombres hacia mujeres, porque consideran que "la del hombre a la mujer es mayoritaria". Esto es cierto, ya que, aunque hay casos en los que se da de la mujer al hombre, como el caso de Noemí Martínez que asesinó a su hija Olivia en Gijón, estos se producen en mucha menor proporción. No existen muchos estudios, pero los realizados hasta la fecha indican que la ejercida de la mujer al hombre se encuentran entre el 3,4% al 20,3%.

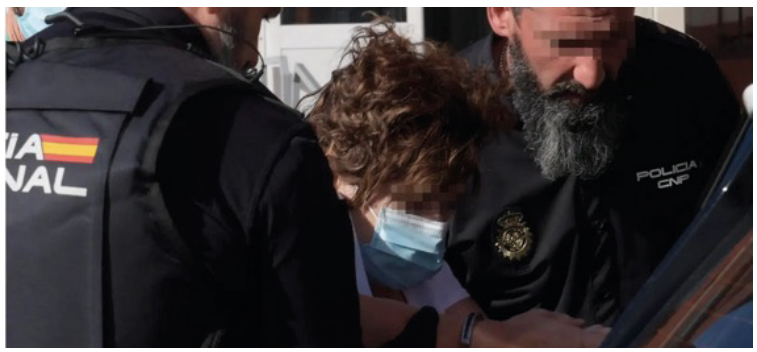


Figura 20: Imagen de Noemí Martinez siendo arrestada. Fuente: https://www.ondacero.es/noticias/sociedad/madre-pequena-olivia-asesino-triple-dosis-letal-pastillas_202211036363a083b7035400016b1634.html

¿EN QUÉ MEDIDA PUEDE AFECTAR ESTO A LA SOCIEDAD?

Según la siguiente gráfica, la mayoría de los encuestados percibe estos tres efectos sociales como altamente relevantes.

Los niños/as cuando conviven con situaciones violentas o de maltrato en las que ellos son el objeto desarrollan mecanismos de adaptación, como una obediencia incondicional o comportamientos violentos. Estos comportamientos los extrapolan al resto de su vida, generando una sociedad violenta que utiliza las conductas violentas para resolver conflictos. Por otro lado, los infantes se encuentran en desarrollo, por lo que estar expuestos a situaciones de violencia física o emocional puede alterar el desarrollo fisiológico del cerebro y repercutir en el crecimiento físico, cognitivo, emocional y social del niño, niña o adolescente.

Además, todos los conflictos intrafamiliares que genera la violencia vicaria, los conflictos con la custodia, provocan familias desestructuradas.

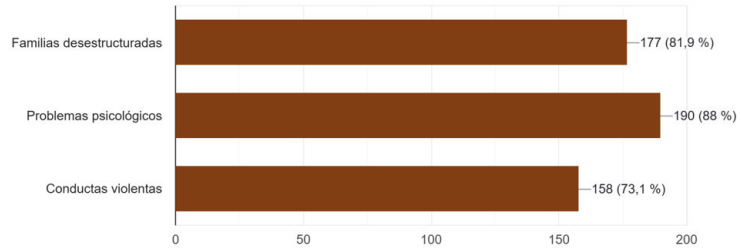


Figura 21: Gráfica ¿En qué medida puede afectar esto a la sociedad? Elaboración propia.

¿LA VIOLENCIA VICARIA ES ALGO NUEVO EN NUESTRA SOCIEDAD O HA EXISTIDO SIEMPRE?

La mayoría de los encuestados responden que ha existido siempre. Aunque el término se acuñó en 2012, al igual que la violencia de género ha existido siempre debido a la sociedad patriarcal en la que vivimos, lo mismo pasa con la violencia vicaria que lleva mucho tiempo presente en nuestra sociedad aunque de manera invisible.



Figura 22: Gráfica ¿La violencia vicaria es algo nuevo en nuestra sociedad o ha existido siempre? Elaboración propia.

¿CONOCES ALGÚN CASO MEDIÁTICO?

El caso que más aparece es el de José Bretón que se considera uno de los más extremos de violencia vicaria en España. Fue condenado por asesinar a sus dos hijos con el objetivo de causar el máximo dolor a la madre.

Los casos más repetidos son aquellos en los que se presenta la violencia vicaria de manera extrema, en la que el progenitor asesina a sus hijos/as. Esto se debe básicamente a que en los medios de comunicación tienen más repercusión los sucesos más graves, sin tener en cuenta que este tipo de violencia tiene muchas manifestaciones, provocando así que la sociedad esté menos informada.

¿ALGUIEN DE TU ENTORNO PUEDE SUFRIR O HA SUFRIDO ESTE TIPO DE VIOLENCIA?

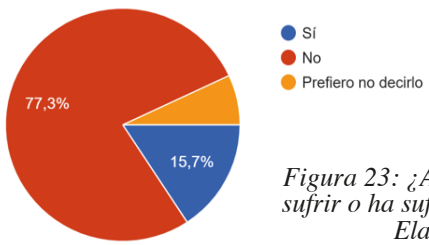


Figura 23: ¿Alguien de tu entorno puede sufrir o ha sufrido este tipo de violencia? Elaboración propia.

34 personas de las 216 encuestadas respondieron que conocen algún caso cercano de violencia vicaria. Por otro lado, las personas que prefirieron no responder que fueron 15 se acercan más al sí que al no, por lo que se podría entender que saben de alguien que la esté sufriendo. Aunque no sea una cifra muy alta sigue siendo un número representativo, que demuestra que este tipo de violencia está muy presente en la sociedad.

6.2 Respuestas de la encuesta: ¿Cómo se vive la violencia vicaria?

MUJERES QUE CONOCÍAN LA VIOLENCIA VICARIA ANTES DE SUFRIRLA

En la siguiente gráfica se observa que un 79,5% de las encuestadas respondieron que conocieron la violencia vicaria a raíz de tener que sufrirla. Lo que demuestra nuestra hipótesis, es decir, que solo aquellos que hayan sufrido o vivido de cerca esta violencia saben lo que es.

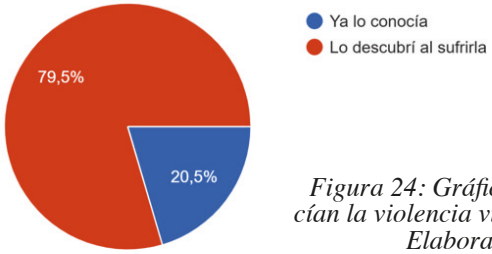


Figura 24: Gráfica Mujeres que conocían la violencia vicaria antes de sufrirla Elaboración propia.

¿QUÉ CLASE DE VIOLENCIA VICARIA RECIBEN LOS MENORES ?

En la gráfica se comprueba que la violencia más repetida es la psicológica, mediante la cual el manipulador pone en contra de la madre a los menores. Sin embargo, en los medios de comunicación solo aparecen los casos de violencia vicaria más extremos, en los que hijos/as son asesinados, provocando que pase desapercibido que la violencia vicaria también puede expresarse de maneras menos visibles pero igualmente dañinas.

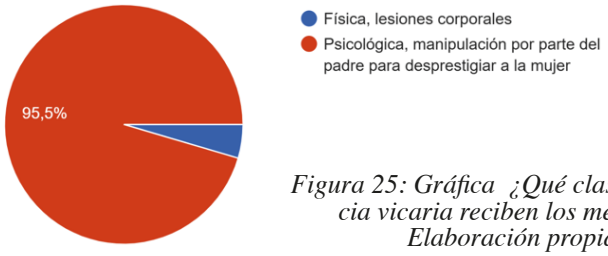


Figura 25: Gráfica ¿Qué clase de violencia vicaria reciben los menores ? Elaboración propia.

TUS HIJOS SIGUEN VIENDO A SU PADRE DEBIDO A QUE EL SISTEMA JUDICIAL HA DECRETADO SU CUSTODIA O CUSTODIA COMPARTIDA

La mayoría de las encuestadas respondieron que los niños/as siguen viendo a sus progenitores ya que el sistema judicial así lo ha decretado. No obstante, "un padre maltratador nunca puede ser buen padre" (Francisco Fernández Marugán (Defensor del Pueblo), 2018). Por lo tanto, esto demuestra que dentro del sistema judicial algo no funciona.

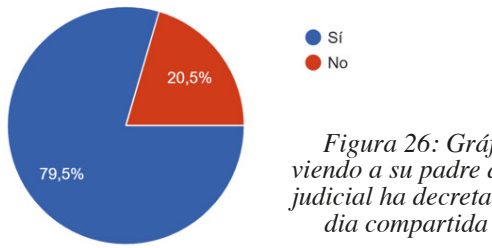


Figura 26: Gráfica Tus hijos siguen viendo a su padre debido a que el sistema judicial ha decretado su custodia o custodia compartida Elaboración propia

¿LOS NIÑOS/AS SIGUEN VIENDO A SU PADRE POR VOLUNTAD PROPIA O PORQUE ESTÁN OBLIGADOS POR LEY?

La mayoría ha respondido que los menores son obligados a ver a sus padres, aunque llama la atención que un 40,9% lo haga de manera voluntaria. Lo que puede significar que la manipulación del progenitor ha sido efectiva y que el menor esté rechazando a la madre.

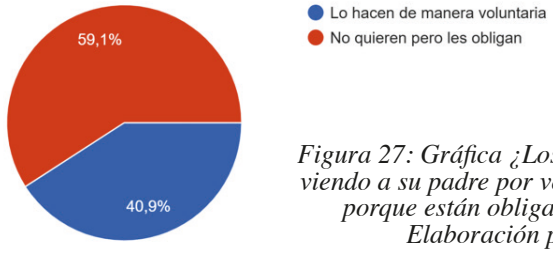


Figura 27: Gráfica ¿Los niños/as siguen viendo a su padre por voluntad propia o porque están obligados por ley? Elaboración propia.

¿QUÉ CONSECUENCIAS SUFREN LOS MENORES TRAS ESTA SITUACIÓN?

En la siguiente gráfica se comprueba que los niños/as inevitablemente se ven afectados al sufrir violencia vicaria. La más repetida de las respuestas con un 86,4%, son las consecuencias emocionales.

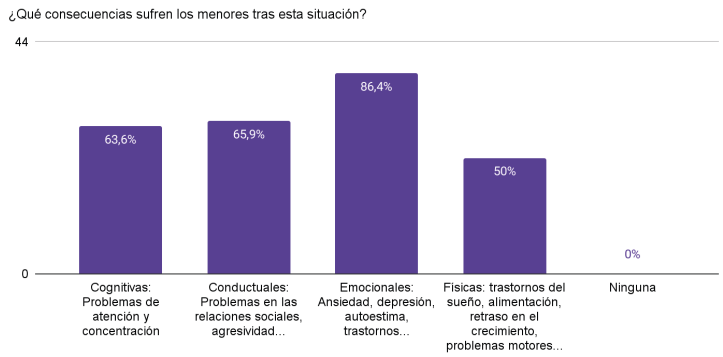


Figura 28: Gráfica Consecuencias menores en situaciones de violencia vicaria Elaboración propia.

Por otro lado, en esta pregunta se dio la opción de añadir alguna otra consecuencia que hayan tenido, y estas fueron las respuestas:

- Agresión física hacia la madre, conductas machistas hacia la madre y mujeres en general señalado por personal docente, expulsiones, problemas con la autoridad y falta de respeto hacia profesores, psicólogos... abuso de sustancias.

- Pérdidas de orina.
- Autolesiones, no controlar esfínteres, dermatitis y dolores de barriga.
- Problemas de atención y conducta agresiva, y la niña, problemas de autoestima, de alimentación y de sueño.
- Entre ellos hay faltas de respeto y agresividad.
- Desatención médica y psicológica a pesar de que tiene tratamientos pautados por médicos y terapias psicológicas autorizadas por dos sentencias judiciales.
- Brotes de dermatitis.

Todo ello demuestra que los menores precisan de unas necesidades especiales y mayores cuidados ya que, cuando se exponen a situaciones de violencia y no reciben los tratamientos adecuados, se presentan estos cuadros. Y a medida que crecen pueden empezar a normalizar estos comportamientos violentos y reproducirlos como forma de resolver conflictos.

¿CREES QUE TUS HIJOS VAN A TENER SECUELAS DURANTE EL RESTO DE SU VIDA?

La mayoría de las encuestadas afirman, un 84,1%, creen que sus hijos van a tener secuelas de por vida, a causa de lo que han tenido que vivir. Esto es cierto ya que todas las consecuencias que hemos visto antes si no se tratan correctamente y con los medios necesarios, pueden seguir repercutiendo en su vida adulta.

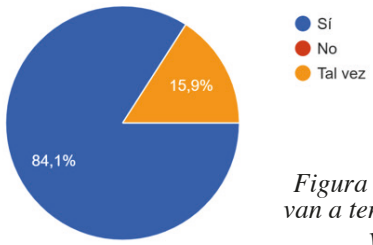


Figura 29: Gráfica ¿Crees que tus hijos van a tener secuelas durante el resto de su vida? Elaboración propia.

¿CREES QUE TUS HIJOS/AS VAN A PODER MANTENER RELACIONES AFECTIVAS SIN PROBLEMA O SE VAN A VER AFECTADAS POR LO QUE HAN TENIDO QUE VIVIR?

Cuando un niño/a se ve expuesto a la violencia vicaria se suelen producir problemas en su desarrollo y entre ellos la falta de destrezas sociales. García Santos (2022) afirma que "no presentan las suficientes habilidades sociales y empatía, y les cuesta comunicarse con los demás" (p. 29). Además tienden a resolver los problemas con violencia. Todo ello les puede dificultar el mantener relaciones afectivas.



Figura 30: Gráfica ¿Crees que tus hijos/as van a poder mantener relaciones afectivas sin problema o se van a ver afectadas por lo que han tenido que vivir? Elaboración propia.

LOS ORGANISMOS PÚBLICOS QUE DEBERÍAN AYUDAR A LAS MUJERES QUE SUFREN VIOLENCIA VICARIA, ¿LO HACEN DE MANERA ADECUADA ?

La mayoría de las mujeres encuestadas responde que los organismos públicos que deberían proporcionar ayuda no lo hacen como deberían. Esto se retrató en el VI Encuentro Estatal sobre Violencia Vicaria e Institucional. En él se constató el incumplimiento o la aplicación inadecuada de las leyes, denunciado por organizaciones y profesionales en este encuentro. Esta es una de las claves para revertir esta situación. "Falla el sistema cuando hay alertas que no se tienen en cuenta", asegura Isabel Giménez, jueza y docente universitaria. "En muchas ocasiones no se escucha a los niños y niñas, o no se les cree, y eso produce que no se tomen las medidas oportunas para protegerlos. Los niños y niñas cuentan si se sabe escuchar, no oír".



Figura 31: Gráfica Los organismos públicos que deberían ayudar a las mujeres que sufren violencia vicaria, ¿lo hacen de manera adecuada ? Elaboración propia.

¿SE PROTEGE LO SUFICIENTE LA INFANCIA?

Las respuestas recibidas en esta pregunta son muy significativas, ya que el 100% de las encuestadas afirma que la infancia no está lo suficientemente protegida. Algo que queda más que claro con las cifras encontradas de menores víctimas mortales, que tal vez se podrían haber evitado con medidas más eficientes.

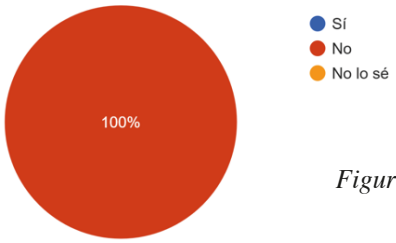


Figura 32: Gráfica ¿Se protege lo suficiente la infancia? Elaboración propia.

¿LA SOCIEDAD TIENE CONCIENCIA DE ESTA VIOLENCIA Y SU GRAVEDAD ?

Las encuestadas confirman la hipótesis dada, de que la sociedad no está lo suficientemente concienciada acerca de esta violencia, con un 100% de las respuestas. Esto muestra la necesidad de tomar medidas para una mayor visibilidad y entendimiento de la problemática.

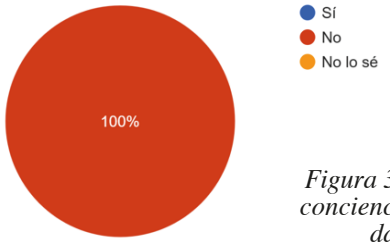


Figura 33: Gráfica ¿La sociedad tiene conciencia de esta violencia y su gravedad ? Elaboración propia.

EN TU CASO, ¿CUÁNDO EMPEZÓ LA VIOLENCIA VICARIA?

En esta cuestión hay cierta diversidad, pero la predominante con un 59,1% de las respuestas es que la violencia vicaria comenzó durante la relación y continuó tras finalizar esta. Se demuestra que la función principal del maltratador es dañar lo máximo que pueda a la mujer, por lo tanto, aunque en muchos casos comienza tras la amenaza de separación (es una forma de seguir ejerciendo control hacia esta cuando ya no se convive), en otros muchos empezó antes. Por lo tanto, el hombre solo busca infligir el mayor sufrimiento posible a la mujer, utiliza a los hijos/as como un medio porque sabe que es lo que ella más quiere.

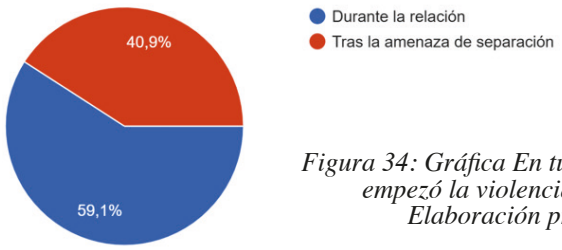


Figura 34: Gráfica En tu caso, ¿cuándo empezó la violencia vicaria? Elaboración propia.

¿ALGUNA VEZ HUBIERAS IMAGINADO QUE TU PAREJA HUBIERA PODIDO ACTUAR DE ESTA MANERA?

En la siguiente gráfica se observa que 29 de las 44 participantes , el 65,9%, no se hubieran imaginado esta actitud por parte de sus parejas, 6 de ellas, el 20,5%, respondieron que tal vez y 9, el 13,6%, que sí lo hubieran esperado. Esto significa que no hay un perfil de maltratador, es decir, no tiene por qué ser visible o predecible, puede provenir de cualquier persona.

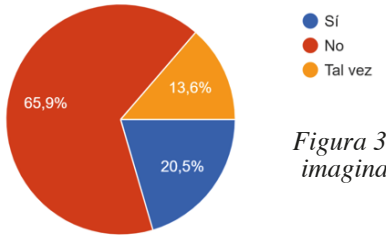


Figura 35: Gráfica ¿Alguna vez hubieras imaginado que tu pareja hubiera podido actuar de esta manera? Elaboración propia.

EN UNA ESCALA DEL 1 AL 5, DONDE 5 ES EL MAYOR NIVEL DE DESCONTENTO, ¿CÓMO EVALUARÍAS EL TRATO QUE HAS RECIBIDO POR PARTE DEL SISTEMA JUDICIAL?

En esta gráfica queda en evidencia el descontento por parte de las víctimas, debido a la atención recibida por parte del sistema judicial, solo un 16,3% señalaron el grado de descontento más bajo, mientras que un 55,8% el más alto.

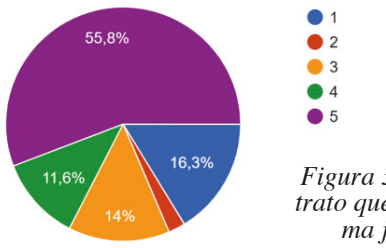


Figura 36: Gráfica ¿Cómo evaluarías el trato que has recibido por parte del sistema judicial? Elaboración propia

¿HAY ALGO MÁS QUE QUIERAS CONTAR SOBRE CÓMO ESTA SITUACIÓN TE HA AFECTADO A TI O A TUS HIJOS/AS?

Las respuestas recibidas nos permiten ver de manera más cercana la realidad que sufren muchas mujeres. Cómo de desamparadas, desprotegidas e ignoradas se sienten, tanto ellas como sus hijos, los cuales manifiestan que en muchos casos no quieren ir con el padre pero aún así son obligados. Además de las deficiencias del personal que les atiende, que no está informado ni cualificado para saber asistirlos.

6.3 Entrevista anónima a una madre que está sufriendo violencia vicaria

Se ha realizado una entrevista a una mujer que, tras plantearle a su marido que quería divorciarse, comenzó a sufrir violencia vicaria de forma indirecta. Esta no se manifiesta de manera violenta, todo lo contrario, según ella relata, el padre es extremadamente cariñoso con los niños, pero la violencia la ejerce con la manipulación a la que somete a los menores para que rechacen la relación con su madre. Se han dividido las respuestas recibidas en 7 categorías:

a) Toma de conciencia

Tras comunicar su intención de divorcio, percibió un cambio significativo en la actitud de sus hijos hacia ella, que se refleja en frases como: "no me deja ni siquiera que le haga una caricia" o "conductas agresivas hacia mí", que atribuye a la manipulación emocional por parte del padre.

b) Formas de violencia a través de los hijos.

La madre identifica que el padre no ejerce violencia física hacia los menores, pero sí un daño emocional indirecto mediante:

- Victimización personal ("se hace la víctima")
- Exceso de afecto intencionado para generar dependencia.
- Manipulación de la narrativa familiar.
- Emplea la manipulación para poner a los hijos en contra de su madre.
- Guiar testimonios falsos ante un juzgado.

Esta descripción coincide con la alienación parental que según MacLennan es un fenómeno que ocurre cuando uno de los progenitores manipula, deliberadamente a un hijo para que rechace al otro progenitor. Este fenómeno se considera parte de la manifestación de violencia vicaria.

c) Impacto en la relación maternofilial.

Relata la instrumentalización de los niños/as para destruir el vínculo materno. Desde la manipulación emocional hasta el abuso del sistema judicial, el objetivo es mantener el poder que se ejerce sobre la madre y aumentar su sufrimiento.

d) Consecuencias emocionales y físicas en la madre.

La entrevistada describe efectos intensos en su bienestar, tanto físico como emocional. Algunos tan evidentes como la pérdida de peso ("12kg"), ansiedad, palpitaciones, miedo a perder el vínculo con sus hijos y tristeza. Todo ello refleja que esta violencia genera un alto grado de estrés.

e) Búsqueda de ayuda y respuesta institucional

La madre se ha dirigido a diversas instituciones: Guardia Civil, 016, Fundación ANAR, Punto de Violencia de Género, servicios de pediatría y psicología. Sin embargo, expresa sentirse desprotegida y no escuchada, ya que minimizan su situación alegando "que tiene que pasar el tiempo, que cuando maduren se darán cuenta", y no intervienen. Lo que refleja una falta de coordinación institucional y una respuesta ineficiente ante las señales que se presentan de violencia vicaria.

f) Percepción del sistema judicial y social.

La entrevista critica la lentitud judicial, provocando el agravamiento de la situación; constata la falta de formación y de recursos para poder actuar de una manera más eficaz, todo ello unido a las dificultades para demostrar la presencia de manipulación psicológica.

g) Concienciación social.

Casos en los que se manifiesta la violencia extrema con el asesinato de los hijos/as aparecen en los medios de comunicación y tienen mucha repercusión. Sin embargo, ante la existencia de distintos grados de violencia vicaria que no conllevan situaciones tan extremas, la respuesta suele ser la ignorancia. Esto se asemeja a la situación que sufrían las mujeres en los años 80 o 90 cuando denunciaban por violencia de género.

La entrevistada señala que la violencia vicaria "es una realidad mucho más habitual de lo que creemos. Que nadie está libre de poder sufrirla en cualquier momento. Hoy en día, los divorcios van en aumento, y con ello, aumentan también las posibilidades de que se dé este tipo de violencia. Los niños deberían estar ajenos a las situaciones difíciles que se viven en un divorcio, pero, desgraciadamente, suele haber un progenitor que utiliza a sus hijos para hacer daño al otro. Debería haber más educación y formación para reducir este tipo de conductas y conseguir una mayor concienciación social."

En resumen, este testimonio permite reafirmar lo expuesto, es decir, la falta de conocimiento sobre la violencia vicaria, ya no solo por la sociedad sino también por los profesionales que deben intervenir en estos casos, así como la desprotección a la que se ven sometidas las víctimas, tanto mujeres como niños. Asimismo, propone una intervención más especializada, analizando cada caso en particular para una mayor justicia, al mismo tiempo que una mayor educación y formación.

6.4 Entrevista anónima a una persona adulta que sufrió violencia vicaria en su infancia

Se ha realizado una entrevista a una mujer que durante su infancia vivió experiencias graves de violencia, que la han acompañado el resto de su vida. Como ella relata, en su caso "la violencia vicaria es una enredadera venenosa que se adhirió al tronco del árbol familiar", motivo por el que el análisis se centrará en las huellas que deja la violencia en los niños, que se arrastran hasta la edad adulta. Se ha organizado en 5 categorías:

a) La infancia se recuerda por las sensaciones, no por los hechos.

La entrevistada explica que su infancia se encuentra "algo borrosa", pero aprecia de manera más nítida aquello que le generó fuertes emociones. Esto es común en personas que han vivido en escenarios que les han provocado mucha angustia. Como explica Bessel van der Kolk (2014), el trauma infantil no se conserva solo como un recuerdo narrativo, sino que la mente podría intentar enterrar el trauma para protegerlos, pero el cuerpo lo recuerda con sensaciones corporales o respuestas emocionales que pueden mantenerse hasta la edad adulta.

b) Respuesta emocional alterada e hipervigilancia.

Relata que los acontecimientos vividos no le permiten estar en un estado de tranquilidad, está en constante vigilancia ante cualquier señal de peligro que se oculte, sean reales o no.

c) Impacto en las relaciones afectivas.

La entrevistada describe cómo el recibir vejaciones y menosprecios le ha llevado a una falta de autoestima y confusión a la hora de mantener vínculos y relaciones personales. Además de las secuelas que le dejó el abuso sexual que recibió, según relata "asociaba cariño con sexo porque fue lo que interioricé", limitando sus relaciones sociales y impidiendole amar de manera saludable. Esta sensación es uno de los síntomas más comunes provocados por la violencia vicaria.

d) Consecuencias en el desarrollo académico, social y en la vida adulta.

Ella comenta que era una buena estudiante pero la violencia y la falta de apoyo, provocaron un abandono prematuro de los estudios, baja percepción de su capacidad y mensajes interiorizados de "no vas a llegar lejos". Estos sentimientos perduran en ella, a pesar de estar yendo a terapia todavía tiene mucho que sanar.

e) Percepción del sistema judicial y social.

Cuenta cómo muchas personas e instituciones eran conscientes de lo que sucedía pero no hacían nada, no recibió ayuda psicológica, ni ninguna clase de protección, esto debido a la falta de recursos y profesionales formados.

Tras este testimonio de una mujer que después de años de tratamiento, a día de hoy, sigue luchando por quitarse esa lacra, queda en evidencia que no hay una respuesta contundente ni una conciencia social. Los niños y niñas se encuentran en medio de una conflicto del que ellos no son responsables, causándoles daños psicológicos irreversibles con los que deberán aprender a convivir. Para ella, aparte de más herramientas, también le parece esencial poner el foco en una buena educación sobre este tema, para poder evitar que la violencia vicaria se vuelva a repetir una y otra vez.

6.5 Otros documentos que apoyan la hipótesis

También es importante destacar algunos documentos clave para la elaboración del proyecto:

a. Las grabaciones del IV Encuentro Estatal sobre Violencia Vicaria y Violencia de Género Institucional [2]

Celebrado los días 30 y 31 de mayo de 2025 en la Facultad de Ciencias de la Información de la UCM (Madrid).
En este encuentro se reunieron especialistas en violencia de género de diversos sectores (juristas, psicólogos, periodistas, representantes de asociaciones feministas, víctimas..), con el objeto de abordar esta violencia desde los ámbitos sanitario, social y jurídico, para explicar y poner sobre la mesa la situación actual de la atención y respuesta

2 Los vídeos analizados fueron los siguientes:
Día 1 (Parte 1): https://www.youtube.com/watch?v=TAlEvAj-6K4
Día 1 (Parte 2): https://youtu.be/2_CI6q_kaoE
Día 2 (Parte 1): https://www.youtube.com/watch?v=rvLcaYGVXck
Día 2 (Parte 2): https://www.youtube.com/watch?v=YBH8sCIUAoM
Día 2 (Parte 3): https://www.youtube.com/watch?v=ZqphKMJ-jcg

a las mujeres víctimas de violencia de género y sus hijos e hijas que son víctimas, a su vez, de la misma violencia. Asimismo propusieron mejoras.

En este encuentro también se trató la importancia de una sensibilización contra la violencia machista y se analizaron las secuelas neuropsicológicas en la infancia.

b. Documental "No estás loca"

Cuarenta mujeres, adolescentes y profesionales, ponen voz desde distintos ámbitos para mostrar cómo el sistema judicial y social no siempre acompaña y protege. Comenzando por el título, que hace referencia a cómo la sociedad muchas veces estigmatiza a las mujeres y las trata de "locas", cuando es un problema real.

A través de este documental se ha podido ver la gravedad de las circunstancias, ya que representa casos reales de maltrato, en el que las víctimas cuentan en primera persona lo que sus hijos llegan diciendo a casa: "papá se ha hecho pipi en la cama" o "me toca el chichi". Pese a elaborarse informes médicos en los que se confirma que realmente el menor ha sufrido una violación, no se le retira la custodia. También se constata el poco peso que tiene la opinión de los menores a la hora de tomar las decisiones judiciales que les afectan, no siendo escuchados en la mayoría de los casos.

Al mismo tiempo, es un grito de ayuda y un canto a la esperanza, recordando que aún queda mucho por hacer, que estamos dando solo los primeros pasos, pero también, que la fuerza y la unión de las víctimas y de quienes las acompañan puede impulsar un cambio necesario y una visión nueva para enfrentar el problema.

c. Violencia vicaria, golpear donde más duele (Sonia Vaccaro, 2021)

Es un libro de Sonia Vaccaro, licenciada en Psicología y experta en violencia de género. Consiste en una investigación sobre la violencia vicaria extrema en España, analizando 400 casos. Muestra de manera detallada casos reales de esta violencia, expone el falso síndrome de alienación parental y busca visibilizar y concienciar a la sociedad sobre lo que está sucediendo.

Este libro ha permitido analizar los patrones de control y castigo, son niños y niñas asesinados y maltratados como producto del deseo de dañar a la madre, señalando frases como: "Te voy a golpear donde más te duele, ya verás lo que te pasa".

También se encuentran numerosas estadísticas y gráficos que permiten entender mucho mejor esta violencia y sus repercusiones.

Incide en la presencia del patriarcado como una de las principales causas de la existencia de la violencia vicaria; los hijos y la mujer son observados como bienes propios del patrimonio del hombre.

7.Conclusiones

En primer lugar, recordaremos la hipótesis enunciada al inicio del proyecto:

La población no sabe qué es exactamente la violencia vicaria y los graves efectos psicológicos que a largo plazo pueden provocar, especialmente en los niños y niñas.

Tras analizar y comparar todos los datos obtenidos y en referencia al marco teórico se han llegado a las siguientes conclusiones:

- Se ha demostrado la falta de concienciación de la problemática, ya que, aunque un alto porcentaje de la población sabe lo que es, conocer su definición no significa entender lo que conlleva.
- Por otro lado, el daño psicológico que reciben los menores es innegable, algo que se demuestra tanto en la encuesta destinada a madres que sufren violencia vicaria, en la que relatan todas las consecuencias que perciben en sus hijos/as, así como en el segundo testimonio que confirma cómo esas vivencias le han afectado en su niñez y lo siguen haciendo en la madurez. La violencia vicaria deja secuelas profundas y duraderas, muy costosas de curar.
- Se ha demostrado la hipótesis específica de "para la gran mayoría será un tema desconocido, solo aquellos que lo hayan sufrido o vivido de cerca lo conocen", pues la mayoría de las mujeres víctimas de violencia vicaria que respondieron a la encuesta afirmaron que conocieron la existencia de esta violencia a raíz de sufrirla.

También cabe destacar las carencias encontradas en el sistema actual para la atención y protección a las víctimas. Muchas de las situaciones a las que se llegaron podrían haber sido evitadas mediante una actuación más rápida, la escucha de los menores, una intervención adecuada de manera específica en cada caso y mejoras en los recursos de prevención y acompañamiento.

La violencia vicaria es una forma de maltrato que deja secuelas en la infancia, que les afectan tanto física como psicológicamente. A través de las entrevistas analizadas, se constatan en los menores profundas alteraciones que afectan a su identidad, sus emociones, su salud mental, sus relaciones afectivas y a su desarrollo académico y social.

La ausencia de una intervención institucional, además de la minimización del problema agravan su impacto. Es fundamental mejorar la respuesta profesional e institucional y garantizar un acompañamiento adecuado a madres e hijos, además de tomar medidas preventivas desde edades tempranas para evitar estas situaciones. Un ejemplo de estas medidas, podría ser el realizado en el IES Guadarrama, acerca de la educación sexual y la pornografía, en la que Marina Marroquí, a través de sus vivencias, relataba cuál es la raíz de la violencia de género y cómo abordarla. "La educación y la formación es la mejor estrategia para conseguir una sociedad que tenga herramientas para enfrentarse a esta lacra social, para ello es necesario abordarla desde diferentes ámbitos" (Marina Marroquí, 2025). También es importante la utilización de las redes sociales para una mayor difusión, como en el vídeo de Ester Espósito, "La búsqueda del tesoro" [3] . Solo así se podrá romper el ciclo de la violencia y proteger verdaderamente la infancia.

Ante este tipo de violencia el ser humano en su conjunto se ve deshumanizado pues se puede llegar a ejercer la violencia sobre los seres más desprotegidos e indefensos, sin que la sociedad ejerza todo su poder coercitivo y de protección hacia aquellos que más lo necesitan, dejándolo reducido al ámbito familiar, cuando es claro y manifiesto que el bienestar tanto físico como emocional de los niños/as debe estar en la cúspide del ordenamiento jurídico como fin primordial que proteger.

Las siguiente frase representa muy bien la esencia del proyecto:

"Una de las trampas de la infancia es que no hace falta comprender algo para sentirlo. Para cuando la razón es capaz de entender lo sucedido, las heridas en el corazón son ya demasiado profundas"(Carlos Ruiz Zafón).

8. Próximas líneas de investigación

La violencia vicaria es un fenómeno que está empezando a salir a la luz, motivo por el cual existen factores de los que todavía no se tiene mucha información:

- **La violencia vicaria digital: nuevas formas de maltrato** La sociedad avanza muy rápido, y con ello las maneras de ejercer maltrato sobre la mujer. Analizar cómo los agresores utilizan las nuevas tecnologías (redes sociales, mensajería..) para ejercer control, acoso y amenazas, causando daño a través de sus seres queridos.
- **Programas de intervención y protección frente la violencia vicaria: ¿Cómo se actúa en estos casos?** Investigar detalladamente acerca de los mecanismos que se activan ante una denuncia de esta violencia. Qué protocolo se lleva a cabo y evaluar su efectividad. Este enfoque permitiría encontrar los motivos que agravan las situaciones.
- **Perfil del agresor en casos de violencia vicaria extrema** Realizar un análisis psicológico de los maltratadores, para intentar comprender qué les lleva a asesinar a sus propios hijos. Les ven como objetos, no les consideran personas y no empatizan con ellos, pero ¿por qué?

9. Referencias bibliográficas

- Asociación de Mujeres para la Psicología Feminista. (2023). *Violencia vicaria: un golpe irreversible contra las madres*. [Estudio sobre el análisis de datos de casos de violencia vicaria extrema, Psicología Feminista]. https://psicologiafeminista.com/wp-content/uploads/AMPF-Informe_V_Vicaria-DIGITAL.pdf
- Barón Rodríguez, S. (2025). *Estudio médico-legal de las víctimas de violencia de género: Violencia vicaria* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Valladolid]. https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/78735/TFG-M-M3622.pdf?sequence=1
- Cabrera Cabrera, S. V., Cevallos Ortega, F. J., Maldonado Paredes, J. C., Arévalo Cuenca, S. M., Bustamante Sinche, J. P., & Mena Manzanillas, P. L. (2024). *La violencia vicaria y los aportes desde la psicología: Su regulación en la legislación de Ecuador como garantía del interés superior del niño / Vicarious violence from the point of view of legal psychology and its regulation in the legislation of Ecuador as a guarantee of the best interest of the child*. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar, 8*(5), septiembre-octubre. [PDF local] https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9848699.pdf

3 "La Búsqueda del Tesoro" de Ester Expósito, es un cortometraje de la campaña del Ministerio de Igualdad de España por el 25N, en la que se narra cómo un hombre utiliza a su hija para dañar a la madre, visibilizando la violencia vicaria: https://www.youtube.com/watch?v=ITs6Ex6hXAI

- De Blas Gorordo, I. (2022). *La violencia vicaria. Regulación y reformas legales* [PDF]. Centro de Estudios Jurídicos (Ministerio de Justicia). https://www.cej-mjusticia.es/sede/publicaciones/ver/13732
- Delegación del Gobierno contra la Violencia de Género. (2022). *Resumen ejecutivo: Estudio sobre violencia de género en España* [PDF]. Ministerio de Igualdad. Recuperado el 15 de diciembre de 2025. https://violenciagenero.igualdad.gob.es/wp-content/uploads/ResumenEjecutivo_EstudioSAP.pdf
- Delegación del Gobierno contra la Violencia de Género. (s. f.). *Guía informativa sobre violencia de género: Aspectos jurídicos* [PDF]. Gobierno de España.Recuperado el 15 de diciembre de 2025. https://violenciagenero.igualdad.gob.es/wp-content/uploads/Guia_Informativa_VG_Juridica_Alicante.pdf
- Encuentros.ViolenciaVicariaydeGéneroInstitucional.[encuentroviolenciavicariae6432] (2 de junio de 2025). *Día 1 - IV Encuentro Estatal Violencia Vicaria y Violencia de Género Institucional (Parte1)* [Video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=TAlEvAj-6K4
- Encuentros.ViolenciaVicariaydeGéneroInstitucional.[encuentroviolenciavicariae6432] (2 de junio de 2025). *Día 1 - IV Encuentro Estatal Violencia Vicaria y Violencia de Género Institucional (Parte2)* [Video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=2_CI6q_ka0E
- Encuentros.ViolenciaVicariaydeGéneroInstitucional.[encuentroviolenciavicariae6432] (2 de junio de 2025). *Día 2 - IV Encuentro Estatal Violencia Vicaria y Violencia de Género Institucional (Parte1)* [Video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=rvLcaYGVXck
- Encuentros.ViolenciaVicariaydeGéneroInstitucional.[encuentroviolenciavicariae6432] (2 de junio de 2025). *Día 2 - IV Encuentro Estatal Violencia Vicaria y Violencia de Género Institucional (Parte2)* [Video]. Youtube https://www.youtube.com/watch?v=YBH8sCIUA0M
- Encuentros.ViolenciaVicariaydeGéneroInstitucional.[encuentroviolenciavicariae6432] (2 de junio de 2025). *Día 2 - IV Encuentro Estatal Violencia Vicaria y Violencia de Género Institucional (Parte3)* [Video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=ZqphKMJ-jcg
- García Santos, L. (2022). *Menores que sufren violencia vicaria e intervención desde el trabajo social* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Valladolid]. https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/57062/TFG-G5747.pdf?sequence=1
- Gutiérrez Castellanos, N. (2024). *Análisis de la violencia vicaria mediante una revisión sistemática: Repercusiones psicológicas en menores y su abordaje por la legislación española* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Miguel Hernández de Elche].https://dspace.umh.es/bitstream/11000/33882/1/An%C3%A1lisis%20de%20la%20violencia%20vicaria%20mediante%20una%20revisi%C3%B3n%20sistem%C3%A1tica_%20Repercusiones%20psicol%C3%B3gicas%20en%20menores%20y%20su%20abordaje%20por%20la%20legislaci%C3%B3n%20espa%C3%B1ola..pdf
- IFIS Educación. (s. f.). *Los 7 tipos de violencia de género.* Recuperado el 15 de diciembre de 2025. https://ifiseducacion.com/los-7-tipos-de-violencia-de-genero/?srsltid=AfmBOoougeT-DoDMmQ9RH4M6ebEgFZbQ8pzyjRyOCjN0czhgy3N-LmPy
- Instituto de las Mujeres. (s. f.). *Definición de violencia de género* [PDF]. Ministerio de Igualdad. https://www.inmujeres.gob.es/servRecursos/formacion/Pymes/docs/Introduccion/02_Definicion_de_violencia_de_genero.pdf
- Instituto de las Mujeres. (2015). *Prevención de la violencia de género en adolescentes: Guía para profesionales* [PDF]. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Recuperado el 15 de diciembre de 2025. https://www.inmujeres.gob.es/publicacioneselectronicas/documentacion/Documentos/DE0055.pdf
- Kolbe, V., & Büttner, A. (3 de agosto de 2020). *Domestic violence against men–prevalence and risk factors. Deutsches Ärzteblatt International, 117(*31–32), 534–541. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33087241/
- Ledesma Rivero, L. (2022). *La violencia vicaria: Una forma de violencia machista* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de La Laguna]. https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/28814/La%20violencia%20vicaria%20Una%20forma%20de%20violencia%20machista.pdf?sequence=1
- Ley Orgánica 1/2021, de 4 de junio, de protección integral a la infancia y la adolescencia frente a la violencia. Boletín Oficial del Estado, 134, de 5 de junio de 2021. https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2021-9347
- Ley Orgánica 1/2004, de 28 de diciembre, de Medidas de Protección Integral contra la Violencia de Género. Boletín Oficial del Estado, 313, de 29 de diciembre de 2004. https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2004-21760
- Ley Orgánica 8/2015, de 22 de julio, de modificación del sistema de protección a la infancia y adolescencia. Boletín Oficial del Estado, 175, de 23 de julio de 2015. https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-8222
- McLeod, S. (2023, septiembre 18). *The body keeps the score: Summary*. Simply Psychology. Recuperado el 15 de diciembre de 2025. https://www.simplypsychology.org/the-body-keeps-the-score-summary.html
- Ministerio de Igualdad. [Ministerio de Igualdad] (24 de noviembre de 2025). *'La búsqueda del tesoro', campaña institucional con motivo del 25N* [Video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=ITs6Ex6hXAI

- Ministerio de Igualdad. (s. f.). *Mujeres víctimas mortales por violencia de género*. Delegación del Gobierno contra la Violencia de Género. Gobierno de España.https://violenciagenero.igualdad.gob.es/violenciaencifras/victimasmortales/fichamujeres/ Recuperado el 15 de diciembre de 2025.
- Ministerio de Igualdad. (s. f.). *Menores víctimas mortales por violencia de género*. Delegación del Gobierno contra la Violencia de Género. Gobierno de España. https://violenciagenero.igualdad.gob.es/violenciaencifras/victimasmortales/fichamenores/ Recuperado el 15 de diciembre de 2025.
- Observatorio de Violencia Vicaria (OVIM). (2023). *Mujeres y sus hijos e hijas en situación de violencia vicaria e institucional en la administración de justicia. Propuestas de mejora de respuesta institucional* [Estudio, OVIM]. https://ovim.org/wp-content/uploads/Estudio_ViolenciaVicaria_AdministracionJusticia.pdf
- Onda Cero. (2022, noviembre 3). *La madre de la pequeña Olivia administró un triple dosis letal de pastillas, según la investigación*. Onda Cero. https://www.ondacero.es/noticias/sociedad/madre-pequena-olivia-asesino-triple-dosis-letal-pastillas_202211036363a083b7035400016b1634.html
- Psychreg. (2023, febrero 21). *Psychological tactics used in parental alienation & child psychological abuse*. Psychreg. Recuperado el 26 de noviembre de 2025. https://www.psychreg.org/psychological-tactics-used-parental-alienation-child-psychological-abuse/?utm_source=chatgpt.com#What_is_parental_alienation
- Psychology. Recuperado el 15 de diciembre de 2025. https://www.simplypsychology.org/the-body-keeps-the-score-summary.html
- Real Academia Española. (s. f.). *Vicario*. *En Diccionario de la lengua española* (23.ª ed.). Recuperado el 10 de diciembre de 2025, de https://dle.rae.es/vicario
- Real Decreto-ley 9/2018, de 3 de agosto, de medidas urgentes para el desarrollo del Pacto de Estado contra la violencia de género. Boletín Oficial del Estado, 188, de 4 de agosto de 2018. https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-11135
- Ruiz Merino, L. (2018). *Violencia de género y el rol del trabajo social* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Valladolid]. https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/32574/TFG-G3264.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- UNICEF Uruguay. (2020, 29 de junio). *¿Cuáles son las consecuencias de la violencia en la crianza*?. UNICEF. Recuperado el 15 de diciembre de 2025. https://www.unicef.org/uruguay/crianza/etapa-escolar/cuales-son-las-consecuencias-de-la-violencia-en-la-crianza
- Vaccaro, S.(2023). *Violencia vicaria: Golpear donde más duele*. DESCLÉE DE BROUWER S.A.

Anexos

Entrevista anónima a una madre que está sufriendo violencia vicaria: Elaboración propia.

Entrevista anónima a una persona adulta que sufrió violencia vicaria en su infancia: Elaboración propia.

Preguntas y respuestas de las encuestas: La violencia Vicaria y ¿Como de vive la violencia vicaria?: Elaboración propia.

CUANDO LAS EMOCIONES TIENEN HAMBRE

UN ESTUDIO SOBRE EL HAMBRE EMOCIONAL EN ADOLESCENTES

Amanda Benito Santana

Tutor: Eugenio Jiménez Blázquez

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor su dedicación y esfuerzo, así como su paciencia y orientación en la elaboración de este trabajo.

En segundo lugar, quiero agradecer a mi familia su apoyo incondicional en cada momento de mi vida. En especial, a mi madre por su cariño, por motivarme y estar a mi lado en cada proyecto que emprendo.

Agradecer a todas las personas que han participado con sus respuestas al cuestionario. Por último, quiero agradecer también al IES Guadarrama la oportunidad que me ha brindado de realizar este proyecto de investigación.

ÍNDICE

1. RESUMEN / ABSTRACT.....38
2. INTRODUCCIÓN.....38
2.1. JUSTIFICACIÓN.....38
2.2. HIPÓTESIS.....39
2.3. OBJETIVOS.....39
3. MARCO TEÓRICO.....39
3.1. EMOCIONES.....39
3.1.1 ELEMENTOS DE LAS EMOCIONES.....39
3.1.2. FUNCIONES DE LAS EMOCIONES.....39
3.1.3. CLASIFICACIÓN DE LAS EMOCIONES.....40
3.1.4. PROCESO BIOLÓGICO DE LA EMOCIÓN.....41
3.2. HAMBRE EMOCIONAL.....42
3.2.1. TIPOS DE HAMBRE.....42
3.2.2. HAMBRE FISIOLÓGICA.....43
3.2.3. HAMBRE EMOCIONAL.....43
3.2.4. HAMBRE EMOCIONAL VS. HAMBRE FISIOLÓGICA.....43
3.2.5. CAUSAS DEL HAMBRE EMOCIONAL.....44
3.2.6. CONSECUENCIAS DEL HAMBRE EMOCIONAL.....44
3.2.7. SOLUCIONES Y ESTRATEGIAS ANTE EL HAMBRE EMOCIONAL.....45
4. METODOLOGÍA.....45
5. ANÁLISIS DE DATOS.....45
6. CONCLUSIÓN.....49
7. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....50
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....50
9. ANEXOS.....50

1. RESUMEN

Las emociones nos acompañan en cada momento de nuestra vida, siendo las que marcan nuestro comportamiento diario a lo largo de toda nuestra existencia; así, los bebés lloran para reclamar comida o contacto físico, las rabietas del niño de dos años muestran su frustración a causa de su falta de desarrollo emocional y en la adolescencia, debido a los cambios hormonales, se muestra mayor ansiedad, estrés y cambios de humor.

La falta de control sobre las emociones lleva a los individuos a reaccionar de diferentes formas en función del entorno al que se tienen que adaptar para sobrevivir.

El hambre emocional, que da título a este proyecto, se centra en cómo la falta de control de las emociones afecta a los impulsos alimenticios de los adolescentes.

Para ello, se llevará a cabo un análisis profundo de la relación entre emociones y hábitos alimenticios, definiendo unos objetivos y un marco teórico.

La investigación, realizada a través de un cuestionario a los adolescentes del IES Guadarrama, concluyó con un análisis de los datos que un alto porcentaje de los encuestados experimenta hambre emocional, principalmente asociado a emociones negativas como el estrés o la ansiedad.

Palabras clave: hambre emocional, emociones, alimentación, adolescencia, conducta alimentaria.

ABSTRACT

Emotions are with us at every moment of our lives, shaping our daily behaviour throughout our existence. Babies cry to ask for food or physical contact, two-year-olds throw tantrums to show their frustration due to their lack of emotional development, and teenagers, due to hormonal changes, show greater anxiety, stress and mood swings.

A lack of control over emotions leads individuals to react in different ways depending on the environment to which they have to adapt in order to survive.

Emotional hunger, which is the title of this project, focuses on how a lack of emotional control affects adolescents' eating impulses.

To do so, an in-depth analysis of the relationship between emotions and eating habits was carried out, defining objectives and a theoretical framework.

The research, carried out through a questionnaire to adolescents from IES Guadarrama, concluded with an analysis of the data that a high percentage of respondents experience emotional hunger, mainly associated with negative emotions such as stress or anxiety.

Keywords: emotional eating, emotions, diet, adolescence, eating behaviour.

2. INTRODUCCIÓN

La alimentación es una necesidad vital para el ser humano, ya que supone el aporte de nutrientes necesario para que el cuerpo obtenga la energía requerida para un correcto funcionamiento del organismo.

A lo largo de la evolución del ser humano se han producido cambios significativos en la forma de obtener y procesar los alimentos.

Los primeros homínidos basaban su alimentación en la obtención de alimentos silvestres, y por tanto, lo que comían era muy variado, dependiendo de la estación del año en la que se encontraran y la zona geográfica que habitaran. Además, esta alimentación estaba ligada a lo que ofrecía el entorno y no a la elección del individuo.

Hoy en día, debido a la industrialización, nuestra forma de alimentarnos ha cambiado radicalmente, pasando de ser una alimentación limitada a lo que brindaba el medio a tener la posibilidad de elegir qué comer según lo almacenado en la despensa.

Además, en la actualidad no solo comemos por la necesidad de nutrir nuestro cuerpo, sino que también comemos por motivos sociales como pueden ser reuniones familiares, comidas laborales o cumpleaños.

Todo esto implica que el control y la elección de qué comer recae sobre el individuo. El tener la posibilidad de elegir lleva en muchas ocasiones a un trastorno de la conducta alimentaria conocido como hambre emocional, objeto de desarrollo en este trabajo de investigación.

2.1. JUSTIFICACIÓN

La falta de control sobre las emociones puede tener un impacto en nuestra salud mayor del que imaginamos. En muchas ocasiones no somos conscientes de esta pérdida de control y sus posibles consecuencias.

En un mundo cada vez más digitalizado y donde las relaciones sociales se establecen mayoritariamente a través

de un dispositivo, el autocontrol requiere dedicar tiempo a uno mismo para saber identificar qué sentimos y cómo gestionarlo para no ser arrollados por el bombardeo diario de información que se recibe.

Se ha elegido este trabajo para dar a conocer el hambre emocional y su repercusión en adolescentes, ya que cada vez deja mayores secuelas en personas de este rango de edad y puede acabar afectando a diversos ámbitos de sus vidas como su autoestima o relaciones sociales.

2.2. HIPÓTESIS

"El tener hambre emocional no depende de las emociones negativas que sentimos".

2.3. OBJETIVOS

El objetivo general del presente proyecto de investigación es estudiar la influencia de las emociones en los hábitos alimenticios de los individuos, enfocado en un rango de edad concreto, como es la adolescencia.

A partir de este objetivo general se pretende alcanzar una serie de conclusiones en relación al hambre emocional y cómo esta relación afecta a determinados comportamientos de los adolescentes en función de las emociones que predominan sobre ellos y el control que ejercen.

Por último, como objetivos específicos, se persigue:

- Divulgar el concepto de hambre emocional y su significado.
- Permitir al adolescente la autodetección del hambre emocional.
- Concienciar al adolescente para que corrija conductas o, en su defecto, le permita buscar apoyos.
- Evitar consecuencias indeseadas relacionadas con el hambre emocional, como pueden ser trastornos de la conducta alimentaria (bulimia, anorexia, obesidad, etc.).

3. MARCO TEÓRICO

3.1. EMOCIONES

Las emociones son parte de nuestro día a día; tenemos muchas y muy variadas; podemos sentir estrés cuando tenemos muchas cosas que hacer, o alegría cuando nos dan una buena noticia.

Son parte de la identidad del ser humano, por lo que comprender lo que sentimos ha sido un tema muy recurrente a lo largo de la historia. A partir del siglo XIX, con autores como Charles Darwin o William James, se empezó a profundizar en el mismo.

Las emociones son un tema que da lugar a distintas interpretaciones, puesto que no hay una respuesta universal que todos los profesionales del ámbito acepten.

La RAE propone dos definiciones de la palabra emoción: "alteración del ánimo intensa y pasajera, agradable o penosa, que va acompañada de cierta conmoción somática" e "interés, generalmente expectante, con que se participa en algo que está ocurriendo" (Real Academia Española, s.f.).

Básicamente, una emoción es una respuesta compleja que produce nuestro organismo ante un estímulo externo o interno y que tiene tres elementos: fisiológicos, cognitivos y conductuales.

3.1.1. ELEMENTOS DE LAS EMOCIONES

Como se ha mencionado en el párrafo anterior, uno de los elementos que componen las emociones es el **fisiológico**, constituido por aquellas acciones involuntarias que no están bajo nuestro control. Por ejemplo, una leve aceleración del ritmo cardiaco o de la frecuencia respiratoria.

Los **cognitivos** son el procesamiento e interpretación de la información, tanto a nivel consciente como inconsciente.

Y por último, los componentes **conductuales**, que son cambios en el comportamiento, o, lo que es lo mismo, la respuesta visible que se lleva a cabo después de que la información haya sido procesada. Se manifiestan, por ejemplo, en cambios en los gestos de la cara, en acciones o en el lenguaje corporal: un fruncido de cejas, un grito, una sonrisa…

3.1.2. FUNCIONES DE LAS EMOCIONES

No todas las emociones son iguales, pero sí todas tienen una función. El psicólogo estadounidense Johnmarshall Reeve (2009) identifica tres funciones claves en las emociones: adaptativa, social y motivacional.

Según Darwin (1872/1998), **la función adaptativa** de las emociones sirve para que el individuo escoja la conducta más apropiada a cada situación y le permita así adaptarse a las condiciones del entorno. A pesar de que las emociones sean de los procesos que menos influyen en la selección natural propuesta por el autor, sí que tienen una función relevante en la evolución.

Para el neodarwinista Plutchik (1980), son ocho las funciones más destacadas de las emociones. En el siguiente cuadro, el autor relaciona estas con el lenguaje funcional que identifica a cada emoción:

Lenguaje subjetivo	*Lenguaje funcional*
Miedo	Protección
Ira	Destrucción
Alegría	Reproducción
Tristeza	Reintegración
Confianza	Afiliación
Asco	Rechazo
Anticipación	Exploración
Sorpresa	Exploración

Figura 1. *Funciones de las emociones. Fuente: Plutchik (1980), citado en Chóliz (2005, Psicología de la emoción: El proceso emocional, p. 5).*

La **función social** cumple una misión principal en el proceso de relaciones sociales y de adaptación al entorno, permitiendo favorecer las relaciones sociales, las comunicaciones e incluso facilitando la conducta prosocial. Esta función social es determinante para que el individuo se desenvuelva en el entorno ya que también permite anticipar los comportamientos de los demás a través de la expresión de las emociones. De la misma manera, la represión de la emoción también cumple su función social, ya que inhibe al individuo de sus propias reacciones emocionales, alterando el comportamiento del grupo en el que socialmente se desenvuelve, llegando a provocar comportamientos indeseables en su entorno, como puede ser el rechazo al individuo.

De ahí la importancia de no inhibir las reacciones emocionales, ya que estas darán una red de apoyo emocional al afectado. Así, emociones como la alegría permiten estrechar vínculos, mientras que emociones como la rabia pueden provocar el alejamiento de los que rodean al individuo.

La **función motivacional** tiene una doble vertiente: dirección e intensidad. Por un lado, esta función guía la conducta acercando o alejando la emoción del objetivo conductual. Y por otra parte, la emoción enfatiza la conducta; así, por ejemplo, la tristeza frena el logro de objetivos y la felicidad alienta a seguir adelante.

3.1.3. CLASIFICACIÓN DE LAS EMOCIONES

Hay diversas formas de clasificar las emociones dependiendo de la perspectiva teórica y el criterio en el que nos basamos. Las tres clasificaciones más comunes son las siguientes:

a) Según su naturaleza

Darwin (1872/1998) propuso la idea de que las emociones son universales debido a que son necesarias para la evolución y supervivencia, como se ha comentado en la función adaptativa de la emoción. Paul Ekman (1992) profundizó en la idea llevando a cabo un intenso estudio sobre cómo clasificar las emociones. En él demostró que las emociones son universales a pesar de que todos las vivimos de maneras distintas. El cómo afrontamos la emoción y qué acción optamos por ejecutar es lo que marca la diferencia entre las personas. Para justificar su argumento, recopiló lo que se conoce como "el rostro universal de las emociones", que no depende de edad, sexo o lugar de origen.

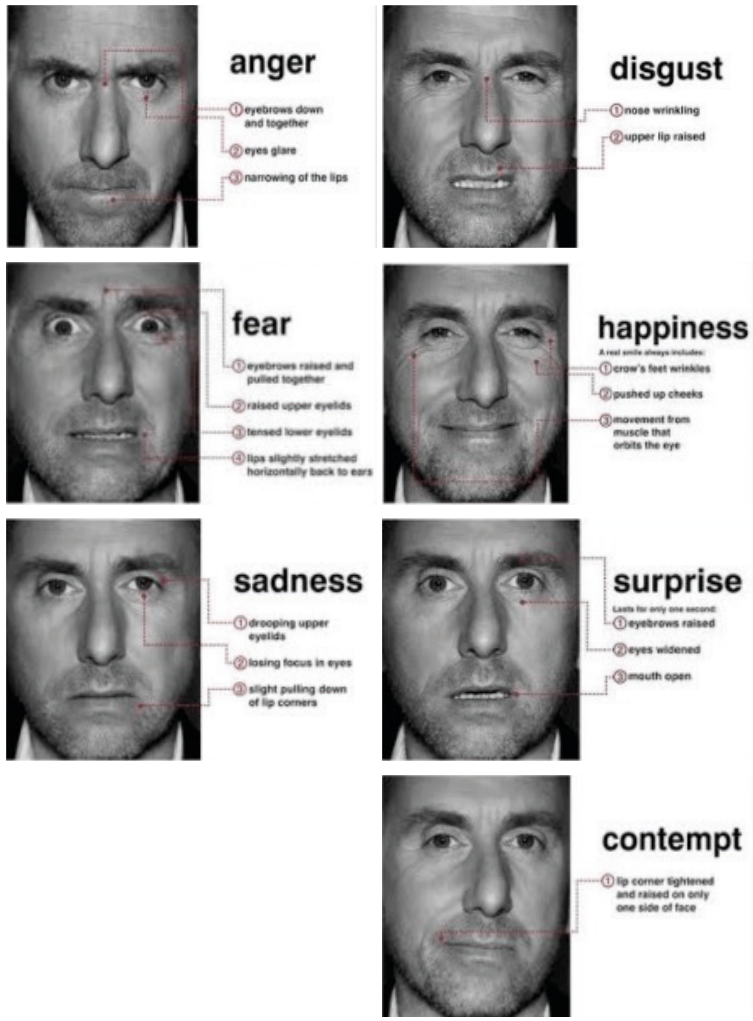


Figura 2. *Paul Ekman: el rostro de las 7 emociones. Fuente: EDPyN (2016).*

A partir de esta investigación, definió siete emociones básicas o primarias: ira, asco, miedo, alegría, desprecio, sorpresa y tristeza. Las emociones primarias están caracterizadas porque son innatas, es decir, no las aprendemos, sino que nacemos con ellas, y universales. Una década más tarde, Plutchik (1980) realizó otra clasificación de las emociones que también contaba con emociones primarias y secundarias. En el estudio de Plutchik, las emociones primarias también son caracterizadas por ser universales e innatas. Sin embargo, el autor defiende que son ocho emociones básicas que se pueden agrupar en pares contrarios y son la base de todas las emociones: alegría, tristeza, miedo, ira, anticipación, sorpresa, aversión y confianza. Además, alega que las emociones primarias se pueden mezclar entre sí dando lugar a las emociones secundarias, las cuales dependen de la experiencia de cada uno, por lo que no son ni universales ni innatas. A partir de esta mezcla de emociones, desarrolló lo que se conoce como "la rueda de las emociones":

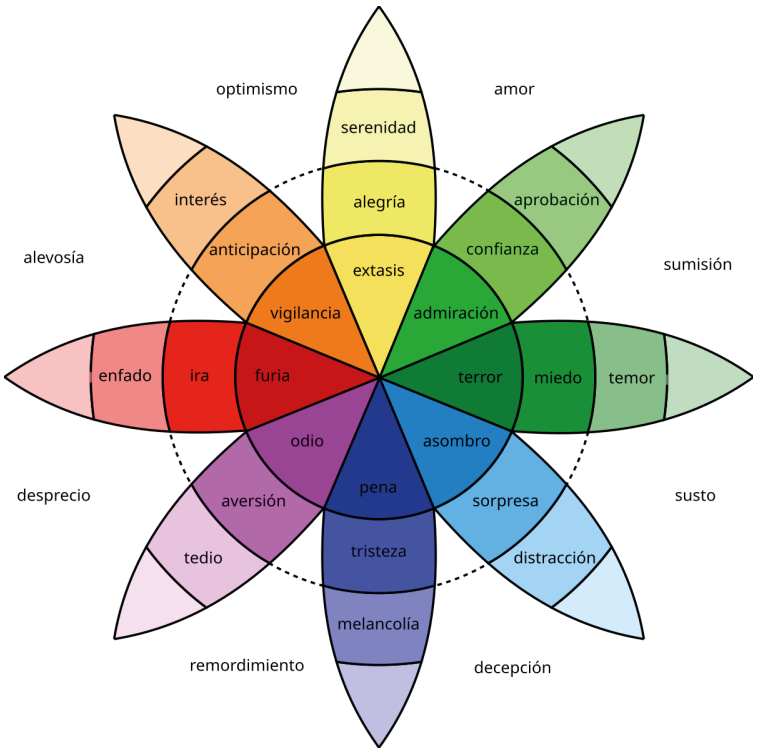


Figura 3. *Rueda de las emociones.*
Fuente: Plutchik (1980), citado en UOC (s.f.).

La rueda muestra las emociones primarias y sus grados de intensidad. De este modo, la intensidad del color refleja la intensidad de la emoción. Están situadas frente a su emoción opuesta. Por ejemplo, la alegría está en el lado contrario de la tristeza. Además, se manifiesta que emociones primarias que se mezclan dan lugar a emociones secundarias, como alegría y confianza que originan el amor.

b) Según su valencia

La valencia es la condición que define la polaridad emocional de una experiencia, es decir, marca si un evento es agradable o desagradable. Las emociones pueden ser principalmente de los siguientes tipos según su valencia: positiva, negativa y en algunos casos, neutra.

Las positivas son aquellas que asociamos a momentos placenteros o de disfrute, caracterizadas por ser agradables. Por ejemplo, la alegría o el amor.

Las negativas, por el contrario, se asocian a situaciones desagradables, como son la ira o tristeza.

Por último, las neutras, que no se asocian estrictamente a un evento agradable o desagradable, sino que están marcadas por el contexto o la mezcla de emociones primarias, por ejemplo, la sorpresa.

3.1.4. PROCESO BIOLÓGICO DE LA EMOCIÓN

La Teoría de la Emoción de James-Lange (James & Lange, 1884) defiende que las emociones son la consecuencia de la percepción de un cambio físico y que estas ocurren en serie: "No lloramos porque estamos tristes, sino que estamos tristes porque lloramos" (James, 1890, citado en Kibbutz, s. f.).

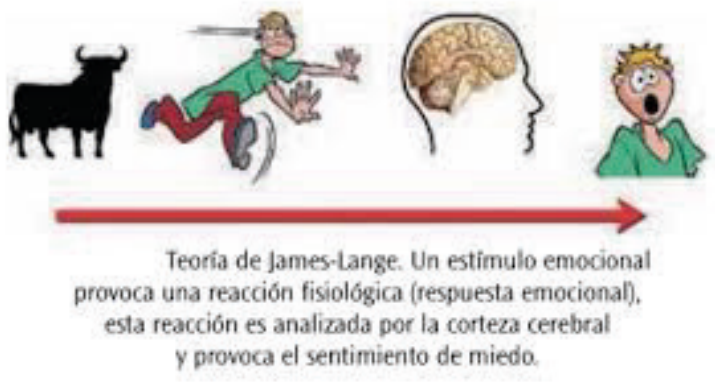


Figura 4. *Teoría de James-Lange.*
Fuente: Kibbutz (s.f.), Psicobiología de las emociones.

Cannon y Bard (1938), por el contrario, afirmaban que las emociones y la respuesta fisiológica ocurren a la vez y no en serie. Así, ante un estímulo, el tálamo enviaría infor-

mación al córtex y al hipotálamo al mismo tiempo, siendo el córtex la experiencia emocional consciente y el hipotálamo la respuesta fisiológica.

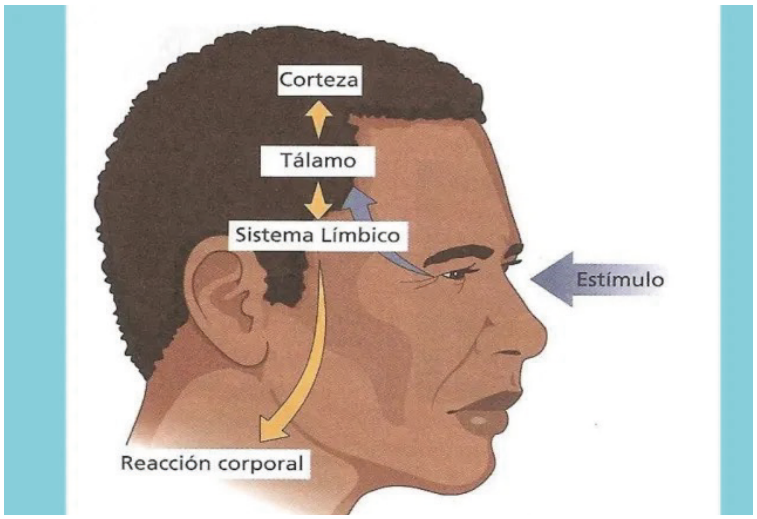


Figura 5. *Teoría de Cannon-Bard.*
Fuente: Psicología de la Educación (2015).

Actualmente, se considera que ambas teorías aportan información válida. Las emociones implican una secuencia fisiológica (James & Lange, 1884) y una activación simultánea de estructuras cerebrales (Cannon & Bard, 1938). Estudios recientes, como los de Stanford Medicine (2024), afirman que las emociones no se originan exclusivamente en el cerebro, sino que involucran al sistema nervioso, endocrino, cardiovascular y sensorial.

Según Alonso García et al. (2023), en el cuerpo humano el procesamiento emocional es regulado por el sistema límbico, que incluye estructuras clave como la amígdala (procesamiento emocional) y el hipotálamo (centro de regulación de la homeostasis, el apetito y enlace con el sistema endocrino). Ante una emoción, la amígdala activa el hipotálamo, que estimula el Sistema Nervioso Autónomo (SNA), desencadenando respuestas físicas. Este conjunto de señales que envía el cuerpo es mucho más rápido que el mismo pensamiento, pudiéndose afirmar que la emoción es energía pura en movimiento.

El Sistema Nervioso Autónomo (SNA) se divide en dos grandes estructuras:

- Sistema Nervioso Simpático (SNS): Es el sistema de alerta y acción. Su activación frente a emociones intensas (estrés, miedo) aumenta el ritmo cardíaco, dilata las pupilas y, fundamentalmente, inhibe la digestión y el apetito para preparar al cuerpo para la huida o lucha.
- Sistema Nervioso Parasimpático (SNP): Es el sistema de relajación y conservación de energía. Sus efectos son contrarios a los del simpático, siendo responsable de estimular la digestión y el apetito.

Las emociones también activan el Sistema Endocrino, que libera hormonas que dan lugar a respuestas más lentas y duraderas. El hipotálamo regula la hipófisis, que a su vez, controla las glándulas suprarrenales. Estas glándulas liberan adrenalina y cortisol (hormona del estrés) en respuesta a la activación emocional, manteniendo el cuerpo en estado de alerta.

Este marco biológico explica cómo las emociones pueden intervenir en el control del apetito y otras funciones corporales. El hambre emocional surge cuando la emoción altera el equilibrio entre el SNS y el SNP.

3.2. HAMBRE EMOCIONAL

3.2.1. TIPOS DE HAMBRE

Según la Real Academia Española (RAE, s.f.), *hambre* significa "gana y necesidad de comer" (s. v. *hambre*, acep. 1). Esta gana y necesidad no significa que todas las veces que comemos lo hagamos por una necesidad (o gana) fisiológica de nuestro cuerpo. Hay otros factores que implican la apetencia de la comida. Chozen Bays explica en su libro *Mindful Eating: A Guide to Rediscovering a Healthy and Joyful Relationship with Food* (2009) los siete tipos de hambre que puede experimentar el ser humano dependiendo de los elementos que influyan en el motivo del hambre:

- Hambre estomacal: Como su propio nombre indica, surge en el estómago. Se tiene la sensación de que el estómago está vacío y se necesita saciar con volumen.
- Hambre corporal o celular: El cuerpo (las células) necesita(n) nutrientes para poder obtener energía. Se ponen de manifiesto señales como mareos, cansancio, irritabilidad, etc., permitiéndonos así reconocer que nuestro organismo necesita una ingesta de alimentos.
- Hambre de corazón: Ligado a las emociones. No hay ninguna necesidad del cuerpo; se busca aliviar un vacío emocional mediante la comida.
- Hambre visual: Expresado popularmente como "comer

con los ojos". La sensación de hambre aparece tras observar una comida llamativa o apetitosa.

- Hambre bucal: Protagonizada por el sentido del gusto. Ocurre cuando el recuerdo de los sabores de alimentos (dulce, salado, amargo, ácido y umami) nos genera apetito.
- Hambre olfativa: Los olores nos producen hambre; por ejemplo, el olor de unas galletas recién sacadas del horno despierta nuestras ganas de comer. Por esta razón, cuando tenemos la nariz taponada, no tenemos tanto apetito.
- Hambre auditiva: Causada al escuchar el crujido de algunos alimentos como los frutos secos, las zanahorias o el pollo frito.

Estudios posteriores como el propuesto por las dietistas Evelyn Tribole y Elyse Resch en su obra *Intuitive Eating: A Revolutionary Program That Works* (1995) añaden otros dos tipos de hambre a esta clasificación:

- Hambre social: Surge en eventos sociales como pueden ser fiestas de cumpleaños o reuniones familiares, donde comemos, ya sea porque forma parte del encuentro o por la presión de ser la única persona que no come. Factores que pueden dar lugar a que comamos más de lo que en realidad deseamos.
- Hambre mental: Es aquella que supone un pensamiento constante acerca de la alimentación. La comida se convierte en una obsesión y se escoge qué comer en función de lo que se sabe de ella: calorías, azúcares, si es buena o mala, etc.

Este trabajo de investigación se enfocará en dos tipos de hambre de los definidos anteriormente: el hambre fisiológica (corporal o celular) y el hambre emocional (de corazón).

3.2.2. HAMBRE FISIOLÓGICA

El hambre fisiológica es aquella necesidad fisiológica del cuerpo por la cual necesitamos ingerir alimentos para poder obtener energía necesaria para el correcto funcionamiento del organismo.

Ramón Turró (1994), en *Orígenes del conocimiento: El hambre*, distingue dos componentes que intervienen en el proceso del hambre: el reflejo trófico, que es el proceso neurofisiológico mediante el que se detecta la necesidad de ingesta del ambiente interno del individuo; y el hambre propiamente dicha, que es el mecanismo por el que somos conscientes de la necesidad de alimentarnos. Ambos elementos cooperan para llevar a cabo el proceso alimenticio iniciado para cubrir una necesidad vital del organismo.

El hambre fisiológica aparece de forma gradual y podemos experimentar síntomas que nos indican la falta de energía y la necesidad de ingesta como rugido de tripas, mareo, salivación, cansancio o mal humor.

3.2.3. HAMBRE EMOCIONAL

El hambre emocional, por el contrario, surge como una reacción a emociones en vez de a necesidades fisiológicas. Busca alivio en la comida sin control aparente, desencadenando en muchas ocasiones trastornos alimenticios, tales como la bulimia, debido a la falta de gestión emocional.

Está caracterizado por una aparición repentina de las ganas de comer y el antojo de alimentos específicos, lo que demuestra que no es el organismo el que necesita energía, pues muchas veces, cuando se come por emociones, el estómago está lleno, pero aun así se tiene el deseo de comer, movido por la impulsividad. Como resultado del descontrol, emociones como la culpa, la vergüenza o el arrepentimiento inundan al individuo que no ha podido reprimir el impulso de sus emociones.

3.2.4. HAMBRE EMOCIONAL VS. HAMBRE FISIOLÓGICA

Aunque aparentemente el hambre fisiológica y el hambre emocional pueden parecer tener un nexo, en realidad son dos conceptos completamente diferentes en lo que a la acción de comer se refiere.

En el siguiente cuadro se presentan las principales diferencias que hay entre ambos tipos, según la organización Beat Eating Disorders (s.f.):

Hambre emocional	Hambre física
• Llega de manera repentina • Sientes que debes saciarla de forma inmediata • Antojas alimentos específicos, usualmente altos en azúcar y grasa • Difícil de satisfacer, incluso cuando el estómago se llena • Genera sentimientos de culpa y vergüenza	• Llega de manera gradual • No sientes una necesidad urgente de saciarla • Te apetece comer una amplia variedad de alimentos • Se satisface una vez lleno el estómago • No genera emociones negativas

Figura 6. *Diferencias entre hambre emocional y hambre fisiológica. Fuente: Beat Eating Disorders (s. f.). Emotional hunger vs. physical hunger. Recuperado de https://www.beateatingdisorders.org.uk/*

3.2.5. CAUSAS DEL HAMBRE EMOCIONAL

Para enumerar las causas del hambre emocional, se han decidido agruparlas en tres tipos: biológicas, psicológicas y sociales.

En primer lugar, dentro de las causas **biológicas** se encuentra el sistema de recompensa, mediante el que el individuo ingiere ciertos alimentos, especialmente azúcares y ultraprocesados, que liberan dopamina (un neurotransmisor que se relaciona con el placer instantáneo) y reduce momentáneamente la emoción negativa. Este sistema suele desencadenar un sentimiento de culpa o vergüenza. Además, el estrés y el sueño también juegan un papel importante; el cortisol aumenta las ganas de ingerir alimentos calóricos como alivio instantáneo y busca también energía rápida para preparar al cuerpo para una posible huida, ya que pone al sujeto en un estado de alerta; el cansancio eleva los niveles de cortisol, altera la producción de hormonas, incrementando la grelina (hormona del hambre) y reduciendo la leptina (hormona de la saciedad), perjudicando al control emocional, y por consiguiente, afectando al control de los impulsos.

En cuanto a las causas **psicológicas**, la mala regulación emocional es la más destacada. No poder identificar con claridad las emociones o no saber cómo enfrentarse a ellas puede tener consecuencias negativas como la búsqueda de alivio en la comida. Si esta acción es reiterada en el tiempo y se convierte en un hábito, el cerebro podría asociar la comida como vía de escape, haciendo que sea más difícil identificar las emociones y no asociarlas a la comida de forma automática.

Por último, en las causas **sociales** destacamos el entorno, ya que influyen factores como la forma en la que se ha sido enseñado a comer o reuniones sociales que incluyan comida. Por otro lado, el estrés generado por situaciones académicas o laborales puede aumentar la presión y con ello hacer más difícil el manejo de las emociones, pudiendo desembocar en la comida como solución. Además, las dietas o la alimentación restrictiva pueden ser contraproducentes, pues la obsesión con la comida debido a la privación de la misma puede generar emociones que desencadenan atracones. Finalmente, un factor agravante es la falta de conocimiento sobre el tema. El hambre emocional se ha comenzado a estudiar en profundidad en las últimas décadas, por lo que su divulgación no es popular, lo que dificulta la identificación de las emociones como motor de la ingesta.

3.2.6. CONSECUENCIAS DEL HAMBRE EMOCIONAL

El hambre emocional puede tener diferentes consecuencias, que también se dividirán en tres tipos: físicas y biológicas, psicológicas y sociales.

Las **físicas** y **biológicas** incluyen: el aumento de peso debido a la ingesta reiterada de alimentos calóricos y comer cuando el cuerpo no lo necesita (incluso teniendo el estómago lleno), lo que puede derivar en obesidad; los problemas digestivos relacionados con el ansia, la rapidez o el descontrol con el que se come, que no permiten al sistema digestivo digerir correctamente los alimentos, produciendo hinchazón o reflujos; y las deficiencias nutricionales ocasionadas por el deterioro de la dieta por los alimentos ultraprocesados, que contribuye al desarrollo a largo plazo de enfermedades cardiovasculares, colesterol o diabetes.

Las causas **psicológicas** están relacionadas con el impacto del hambre emocional en la salud mental. Después de haber dejado controlar la ingesta por las emociones, el individuo experimentará culpa, arrepentimiento o se sentirá avergonzado. Esto creará un círculo vicioso, pues se volverá a ese estado inicial de malestar. En la siguiente figura se explica gráficamente:



Figura 7. *Ciclo vicioso del hambre emocional. Fuente: Bargues, E. (2020, 23 febrero). Cómo gestionar el hambre emocional. BeGreenChica. Recuperado de https://begreenchica.com/como-gestionar-el-hambre-emocional/*

La sensación de pérdida de control genera una frustración que deteriora la perspectiva sobre uno mismo, lo que disminuirá la autoestima del individuo. Asimismo, el hambre emocional recurrente puede desembocar en trastornos alimenticios como la bulimia o atracones.

Para finalizar, a nivel **social** puede haber consecuencias como el aislamiento por querer esconderse a la hora de comer, la dificultad en las relaciones debido a los cambios de

humor bruscos ocasionados por la falta de gestión emocional o un menor rendimiento producido por la falta de concentración o el estrés.

3.2.7. SOLUCIONES Y ESTRATEGIAS ANTE EL HAMBRE EMOCIONAL

Las estrategias que se proponen se basan en la toma de conciencia sobre los alimentos y la regulación de las emociones.

En relación con la toma de conciencia sobre los alimentos, la psicóloga Suzanne Powell (2013) considera importante enfocar la atención plena en el acto de comer; esto permitirá distinguir el hambre fisiológica del hambre emocional. En su libro *Alimentación consciente*, establece como principal estrategia aplicar el *mindful eating*, es decir, comer sentados, sin prisas, sin distracciones (sin dispositivos electrónicos), permitiéndonos prestar atención a los sentidos del gusto y olfato y a la textura y olor de los alimentos, que permite que nuestro cerebro se sienta saciado, facilitando todo esto la digestión.

En relación a la regulación de las emociones, ansiedad, aburrimiento, estrés, etc., las estrategias deben dirigirse al manejo de estas sin caer en la tentación de aliviarlas con la comida. Para ello, se pueden realizar ejercicios de meditación y respiración profunda que ayuden a reducir los niveles de ansiedad y a mantener la calma. Ante el impulso de comer, la estrategia sería parar, respirar, observar la emoción para obtener una respuesta consciente y no impulsiva. También se pueden plantear estrategias que no involucren la comida, por ejemplo, creando hábitos como hacer deporte.

4. METODOLOGÍA

La metodología aplicada en este trabajo de investigación se ha centrado principalmente en tres áreas: el análisis de información obtenido mediante una búsqueda bibliográfica de artículos, libros especializados y referencias encontradas en internet; en segundo lugar, se analiza cómo se va a llevar a cabo la parte experimental, habiéndose realizado a través de la confección de una encuesta a personas cuyo rango de edad se encuentra dentro del objeto de este proyecto de investigación; y por último, se analizan los datos obtenidos para obtener unas conclusiones basadas en el análisis de información y la encuesta realizada.

El análisis de información se ha centrado en la indagación sobre el hambre emocional y lo relacionado con este: se inicia con la definición de emoción y sus características principales; posteriormente, se analizan los tipos de hambre que puede experimentar el ser humano, centrándose en dos tipos: el hambre fisiológica y el hambre emocional.

Después, se realizó un cuestionario que fue aplicado a una población centrada en el IES Guadarrama, cuyo rango de edad oscila en los años comprendidos entre los 10 y los 19 años, que según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022) corresponde a la etapa de la adolescencia. Este cuestionario incluye 17 preguntas cerradas con opción múltiple de respuestas. Las preguntas estaban dirigidas a clasificar y analizar las variables principales: reconocer patrones de hambre emocional y categorizar el tipo de emoción vinculada con la ingesta (ya sea positiva o negativa).

La muestra final estuvo compuesta por 247 alumnos que accedieron de forma voluntaria a responder.

El procedimiento aplicado fue la encuesta online, garantizando así el anonimato y la voluntariedad.

El cuestionario completo (con todas las preguntas y opciones de respuestas) se adjunta en el Anexo 1.

Tras la recogida de datos, estos se analizaron con el objetivo principal de determinar si había una relación significativa entre las variables estudiadas: el tipo de emoción (positiva o negativa) y el hambre emocional. Para ello, se emplea el método del chi cuadrado (χ^2). La razón por la que se eligió la prueba estadística Chi-cuadrado (X^2) es porque las variables principales son categóricas. Esta prueba posibilita la comparación entre las frecuencias observadas y las que se esperan de no haber ninguna relación entre las variables. La fórmula empleada se adjunta en el Anexo 2.

5. ANÁLISIS DE DATOS

A continuación, se presentan los resultados del cuestionario aplicado al alumnado del IES Guadarrama, de acuerdo con el proceso de análisis estadístico que se describe en la metodología.

En primer lugar, se diferencia entre la frecuencia del hambre emocional, haciendo una distinción entre las emociones positivas y negativas. Las figuras 8 y 9 muestran la distribución de las respuestas a las preguntas acerca de la frecuencia con que los estudiantes comen debido a emociones negativas y positivas, respectivamente.

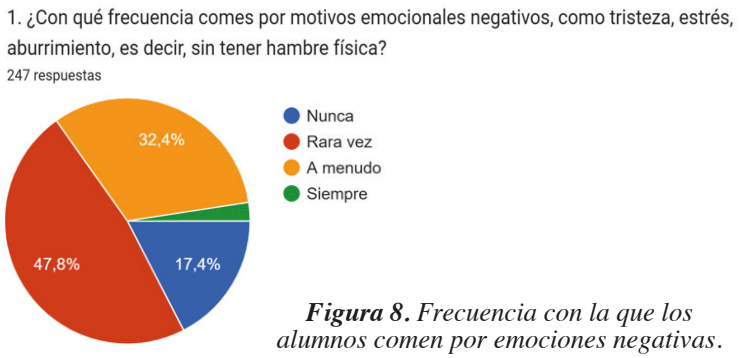


Figura 8. *Frecuencia con la que los alumnos comen por emociones negativas.*

Se puede observar que la gran mayoría de los encuestados (82.6% al sumar las categorías "Siempre", "A menudo" y "Rara vez") ha experimentado alguna vez hambre emocional por emociones negativas y que aproximadamente un tercio de la muestra (38.4% al sumar "Siempre" y "A menudo") lo experimenta de forma reiterada.

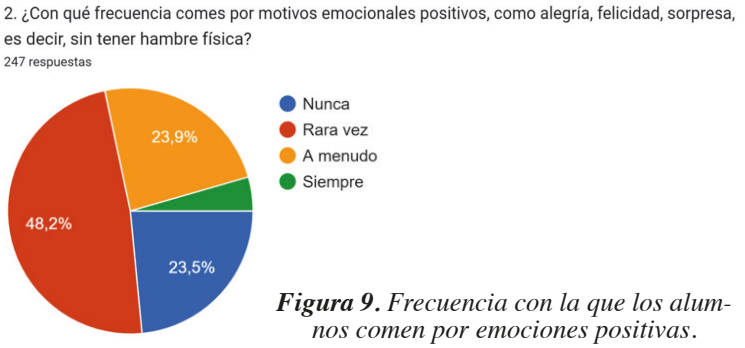


Figura 9. *Frecuencia con la que los alumnos comen por emociones positivas.*

En cuanto a las emociones positivas, el 76.5% (al sumar las categorías "Siempre", "A menudo" y "Rara vez") de los alumnos han experimentado esta conducta alguna vez, y un 28.4% (al sumar "Siempre" y "A menudo") come habitualmente por motivos emocionales positivos.

Por otro lado, se analizó si el hambre emocional causado por una emoción (negativa o positiva) consistía en el aumento de la ingesta o la disminución de la misma.

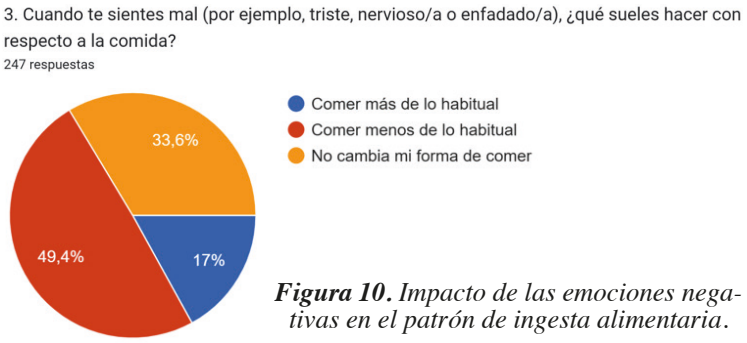


Figura 10. *Impacto de las emociones negativas en el patrón de ingesta alimentaria.*

En la Figura 10 se aprecia que las emociones negativas, tales como la tristeza, los nervios o el enfado, llevan a casi la mitad de los estudiantes (49,4%) a comer menos de lo habitual y al 17% a comer más de lo habitual.

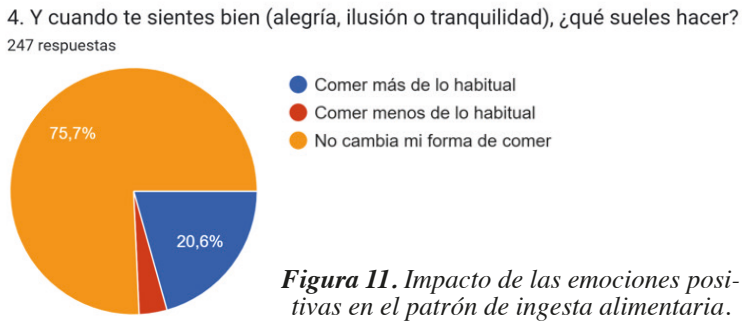


Figura 11. *Impacto de las emociones positivas en el patrón de ingesta alimentaria.*

Por el contrario, las emociones positivas como la alegría, la ilusión o la tranquilidad tienen un impacto menor en el hambre emocional de los encuestados pues, un 75,7% afirma que no cambia su forma de comer, mientras que un 20,6% come más de lo habitual y un 3,6% come menos de lo habitual.

Además, se estudió si los estudiantes eran capaces de distinguir entre los dos tipos de hambre estudiados: el hambre emocional y el hambre física.

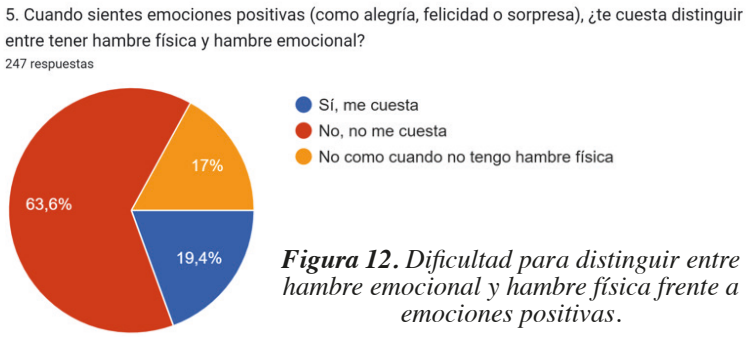


Figura 12. *Dificultad para distinguir entre hambre emocional y hambre física frente a emociones positivas.*

La Figura 12 refleja que a un 19,4% de la muestra sí le cuesta distinguir entre el hambre emocional y el hambre física cuando sienten emociones positivas.

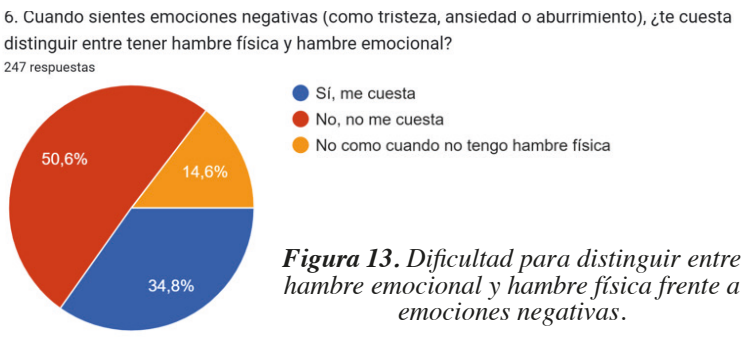


Figura 13. *Dificultad para distinguir entre hambre emocional y hambre física frente a emociones negativas.*

Por otro lado, respecto a las emociones negativas, la Figura 13 muestra que al 34,8% de los alumnos les cuesta distinguir entre los dos tipos de hambre.

Después se analizaron las emociones específicas que producen la sobreingesta por motivos emocionales.

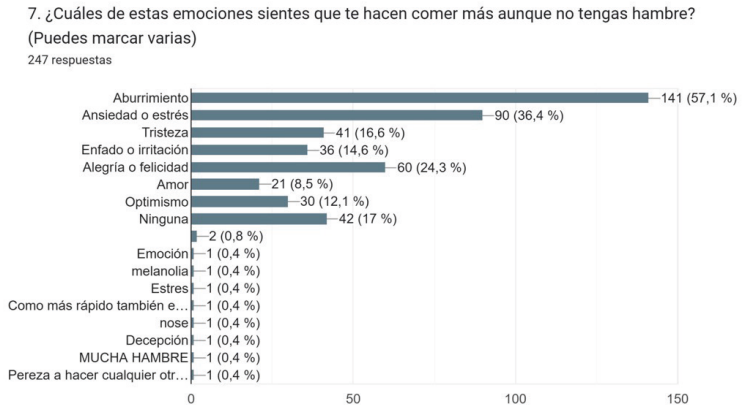


Figura 14. *Emociones específicas que conducen a la sobreingesta.*

Se puede apreciar que los porcentajes más altos se corresponden con emociones negativas, siendo las predominantes el aburrimiento (57.1%) y la ansiedad o estrés (36.4%).

Además, se analizaron aquellas emociones específicas que incitan a comer menos:

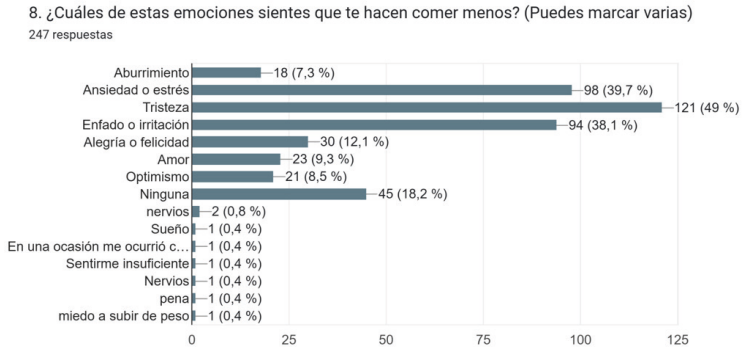


Figura 15. *Emociones específicas que conducen a la hipoingesta.*

En esta figura se observa que las emociones principales que hacen que el individuo coma menos son la tristeza (49%), la ansiedad o estrés (39.7%) y el enfado e irritación (38.1%), siendo de nuevo las emociones negativas las predominantes.

Asimismo, se analizó el momento del día en el que el hambre emocional era más frecuente.

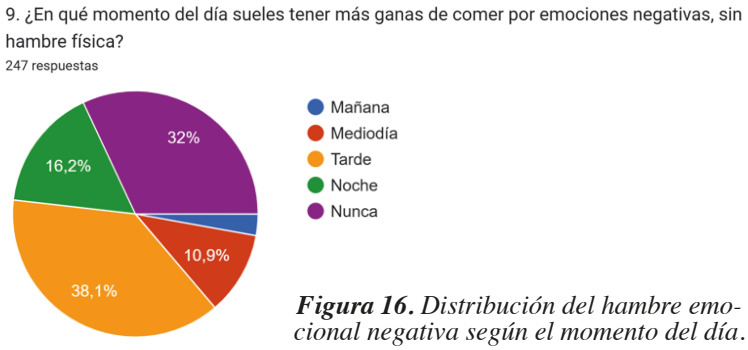


Figura 16. *Distribución del hambre emocional negativa según el momento del día.*

El hambre emocional impulsado por emociones negativas es más frecuente en la tarde (38,1%), seguido por la noche (16,2%), el mediodía (10,9%) y, por último, la mañana (2,8%).

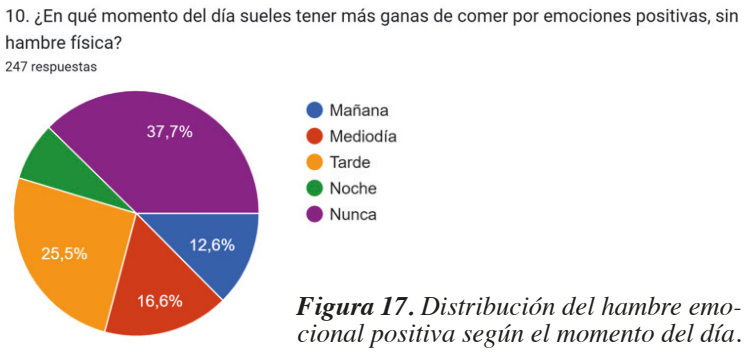


Figura 17. *Distribución del hambre emocional positiva según el momento del día.*

El hambre emocional impulsado por emociones positivas es más frecuente en la tarde (25,5%), seguido por el mediodía (16,6%), la mañana (12,6%) y, finalmente, la noche (7,7%).

También se estudiaron los alimentos a los que se recurre cuando el hambre emocional está presente:

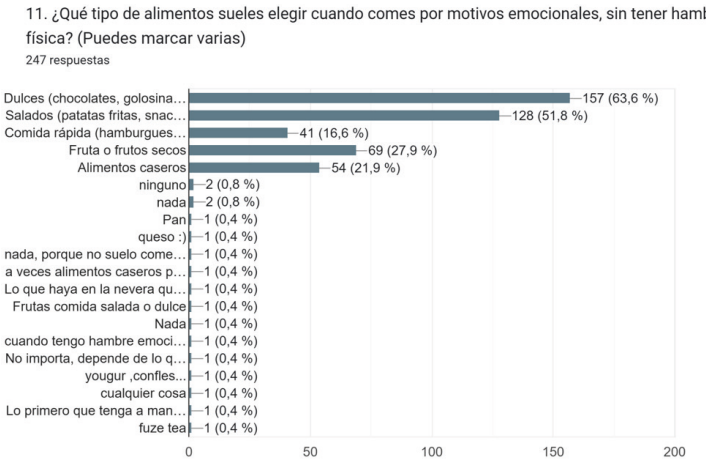


Figura 18. *Tipos de alimentos a los que se recurre con mayor frecuencia durante el hambre emocional.*

Encabezan la lista los alimentos ricos en azúcares: los dulces (63,6%); seguidos por los alimentos salados (51,8%) y la fruta o frutos secos (27,9%).

Para entender el ciclo de la alimentación emocional y su impacto, se analizó igualmente la reacción emocional inmediata que los alumnos sienten después de la ingesta sin tener hambre física.

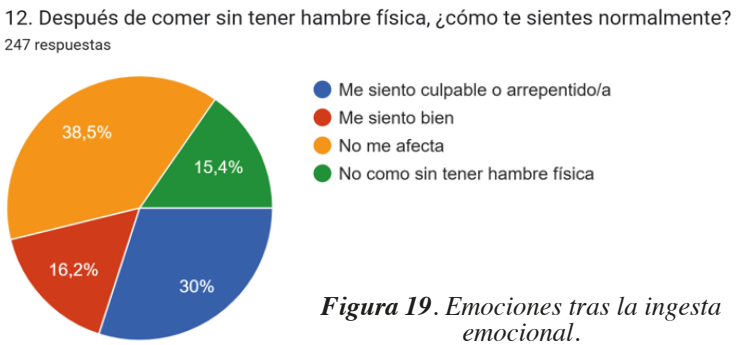


Figura 19. *Emociones tras la ingesta emocional.*

En la Figura 19 se constata que un 30% del alumnado se siente culpable o arrepentido tras la ingesta emocional.

En la misma línea de consecuencias del hambre emocional, se estudió la percepción de los estudiantes sobre cómo afecta esta conducta en su salud.

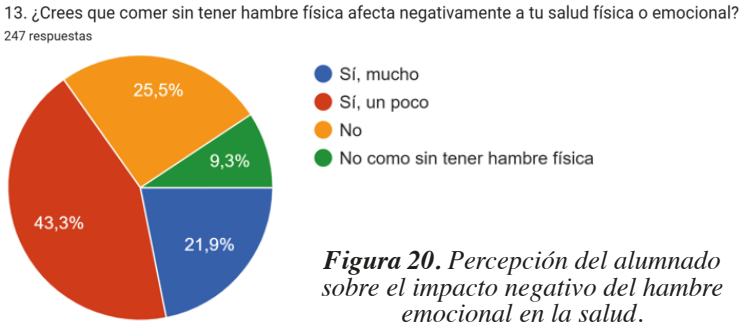


Figura 20. *Percepción del alumnado sobre el impacto negativo del hambre emocional en la salud.*

En la Figura 20 se observa que la mayoría (65,2% sumando los porcentajes de las respuestas "Sí, un poco" y "Sí, mucho") considera que comer por motivos emocionales tiene consecuencias negativas para la salud.

En relación con lo anterior, se examinó si el alumnado cree que tener un manejo sobre las emociones influiría en el control del hambre emocional.

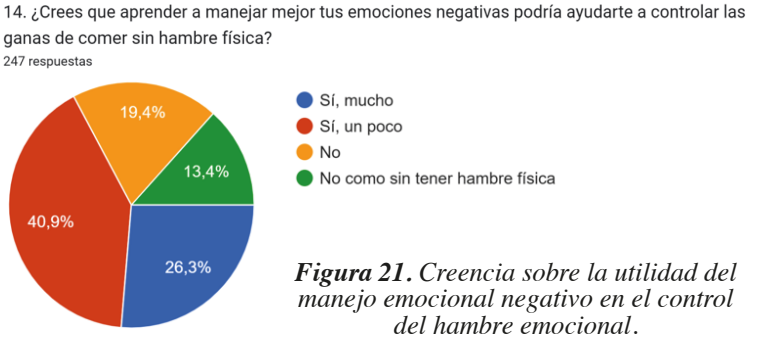


Figura 21. *Creencia sobre la utilidad del manejo emocional negativo en el control del hambre emocional.*

Respecto a las emociones negativas, un 67,2% (al sumar los porcentajes de las respuestas "Sí, mucho" y "Sí, un poco") considera que sí.

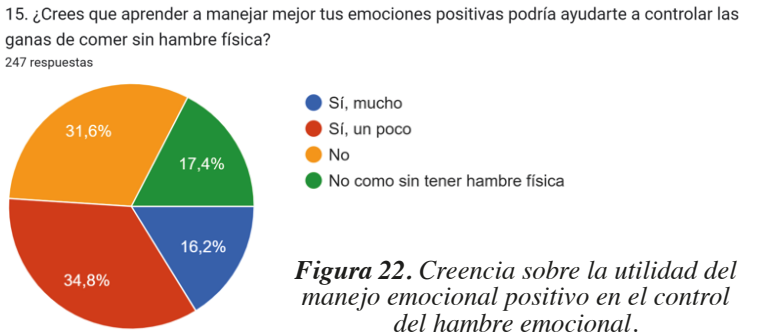


Figura 22. *Creencia sobre la utilidad del manejo emocional positivo en el control del hambre emocional.*

Mientras que con las emociones positivas, el porcentaje disminuye, siendo un 51% (al sumar los porcentajes de las respuestas "Sí, mucho" y "Sí, un poco") los que están de acuerdo.

Finalmente, se estudió si los estudiantes habían conseguido con éxito frenar el impulso emocional o si, por el contrario, no lo habían intentado o no habían sido capaces de frenar el impulso.

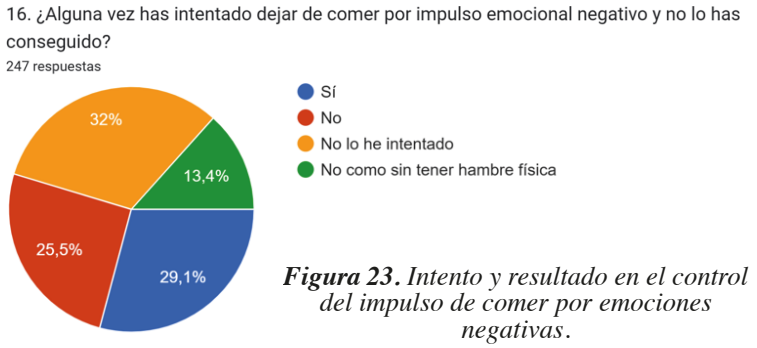


Figura 23. *Intento y resultado en el control del impulso de comer por emociones negativas.*

La Figura 23 muestra las respuestas según el impulso emocional negativo, pudiéndose afirmar que un 29,1% no

había sido capaz de frenar el impulso, un 25,5% sí lo había conseguido y un 32% no lo había intentado.

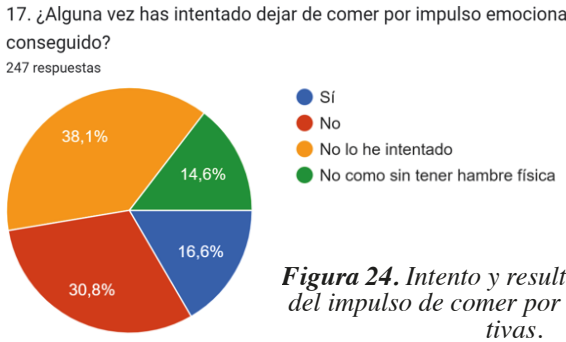


Figura 24. *Intento y resultado en el control del impulso de comer por emociones positivas.*

En la Figura 24 se observa el impulso emocional positivo, de tal manera que un 16,6% no habrían conseguido frenar el impulso, un 30,8% sí lo habría logrado y un 38,1% no lo habría intentado.

Para verificar la hipótesis del trabajo, se recogieron los datos de las respuestas de todas las preguntas en una tabla de contingencia que combina la existencia de hambre emocional (Sí/No) con el tipo de emoción (positiva/negativa). Las frecuencias observadas se presentan en la Figura 25:

Tabla de contingencia				
		EMOCIONES		
		NEGATIVAS	POSITIVAS	Total
Hambre emocional	Si	3449	597	**4046**
	No	882	889	**1771**
	Total	4331	1486	**5817**

Figura 25. *Tabla de contingencia.*

A continuación, se muestra los porcentajes de las frecuencias observadas:

		EMOCIONES (%)		
		NEGATIVAS	POSITIVAS	Total
Hambre emocional	Si	**80%**	**40%**	70%
	No	**20%**	**60%**	30%
	Total	100%	100%	100%

Figura 26. *Tabla de porcentajes de frecuencias observadas.*

La siguiente tabla (frecuencias esperadas) presenta los datos teóricos que se obtendrían si las variables fuesen independientes y no existiese ninguna relación entre ellas:

FRECUENCIAS ESPERADAS $E_i = \frac{n_{i.} * n_{.j}}{n}$				
		EMOCIONES		
		NEGATIVAS	POSITIVAS	Total
Hambre emocional	Si	3012,42	1033,58	**4046**
	No	1318,58	452,42	**1771**
	Total	4331	1486	5817

Figura 27. *Tabla de frecuencias esperadas.*

Por último, la Figura 28 muestra los resultados del cálculo de la prueba chi cuadrado (χ^2), que se fundamenta en el cuadrado de la diferencia entre las frecuencias esperadas (Figura 13) y las observadas (Figura 11).

$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$				
		EMOCIONES		
		NEGATIVAS	POSITIVAS	Total
Hambre emocional	Si	63,27	184,41	**247,69**
	No	144,55	421,30	**565,8580213**
	Total	207,826253	605,7170267	813,5432797

Figura 28. *Tabla de resultados del cálculo de la prueba chi cuadrado (χ^2).*

Se han de tener en cuenta las complicaciones y el margen de error. El cuestionario se aplicó a una muestra reducida de adolescentes, lo que implica que los resultados no pueden generalizarse a toda la población adolescente. Además, al tratarse de respuestas autoinformadas, existe el riesgo de sesgo de deseabilidad social. También hay que considerar que las emociones son fenómenos cambiantes y subjetivos, por lo que las respuestas pueden variar según el momento vital o el contexto en que se realizó la encuesta.

Estos márgenes de error no invalidan los resultados, pero sí invitan a interpretarlos con cautela y a plantear futuras investigaciones con muestras más amplias y diversas.

6. CONCLUSIÓN

Los resultados de la prueba del chi-cuadrado (χ^2), que se presentan en la figura anterior (Figura 28), mostraron un valor de chi-cuadrado de 813,543. Como este valor es muy superior al valor crítico (3,84), se descarta la hipótesis nula de independencia de sucesos y, por tanto, hay una relación entre las emociones negativas y el hambre emocional y, por ende, concluimos que:

"Las emociones negativas NO son independientes a sentir hambre emocional" y, por tanto, las emociones negativas originan hambre emocional.

7. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- Ampliar la muestra poblacional en distintos centros y contextos socioculturales.
- Relacionar hambre emocional con rendimiento académico y social en adolescentes.
- Evaluar programas educativos de alimentación consciente y regulación emocional.
- Estudiar la relación entre hambre emocional y calidad del sueño en adolescentes.
- Analizar el papel del estrés académico como desencadenante del hambre emocional.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alonso, J. I., Ferrer, A., & Martínez Costas, L. (2023). *Procesamiento emocional y sistema límbico*. Revista de Neurociencia Aplicada, 12(3), 39–44.
2. Bargues, E. (2020, 23 de febrero). *Cómo gestionar el hambre emocional*. BeGreenChica. Recuperado de https://begreenchica.com/como-gestionar-el-hambre-emocional
3. Beat Eating Disorders. (s.f.). *Emotional hunger vs. physical hunger*. Beat Eating Disorders. Recuperado de https://www.beateatingdisorders.org.uk
4. Cannon, W. B., & Bard, P. (1938). *Physiological explanations of emotion*. Psychological Review, 15(5).
5. Chozen Bays, J. (2009). *Mindful eating: A guide to rediscovering a healthy and joyful relationship with food*. Shambhala Publications.
6. Darwin, C. (1998). *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. Oxford University Press. (Obra original publicada en 1872)
7. Ekman, P. (1992). *An argument for basic emotions*. Cognition and Emotion, 6(3–4).
8. James, W. (1884). *What is an emotion?* Mind, 9(34).
9. Kibbutz. (s.f.). *Psicobiología de las emociones*. [Fuente secundaria].
10. Organización Mundial de la Salud. (2022). *Adolescent health*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de https://www.who.int/health-topics/adolescent-health
11. Powell, S. (2012). *Alimentación consciente*. Editorial Sirio.
12. Plutchik, R. (1980). *Emotion: A psychoevolutionary synthesis*. Harper & Row.
13. Real Academia Española. (s.f.). *Emoción*. En Diccionario de la lengua española (Edición del Tricentenario). Recuperado de https://dle.rae.es/emoción
14. Real Academia Española. (s.f.). *Hambre*. En Diccionario de la lengua española (Edición del Tricentenario). Recuperado de https://dle.rae.es/hambre
15. Reeve, J. (2009). *Understanding motivation and emotion* (5th ed.). Wiley.
16. Stanford Medicine. (2024). *Emotions and body systems*. Stanford University. Recuperado de https://med.stanford.edu
17. Tribole, E., & Resch, E. (1995). *Intuitive eating: A revolutionary program that works*. St. Martin's Press.
18. Turró, R. (1994). *Orígenes del conocimiento: El hambre*. Anthropos Editorial.
19. Universitat Oberta de Catalunya (UOC). (s.f.). *La rueda de las emociones de las emociones de Plutchik*. UOC.
20. EDPyN. (2016). *Paul Ekman: el rostro de las 7 emociones*. Escuela de Desarrollo Personal y Neurociencia.

9. ANEXOS

ANEXO 1

1. ¿Con qué frecuencia comes por motivos emocionales negativos, como tristeza, estrés, aburrimiento, es decir, sin tener hambre física?
Nunca. Rara vez. A menudo. Siempre

2. ¿Con qué frecuencia comes por motivos emocionales positivos, como alegría, felicidad, sorpresa, es decir, sin tener hambre física?
Nunca. Rara vez. A menudo. Siempre

3. Cuando te sientes mal (por ejemplo, triste, nervioso/a o enfadado/a), ¿qué sueles hacer con respecto a la comida?
Comer más de lo habitual. Comer menos de lo habitual. No cambia mi forma de comer

4. Y cuando te sientes bien (alegría, ilusión o tranquilidad), ¿qué sueles hacer?
Comer más de lo habitual. Comer menos de lo habitual. No cambia mi forma de comer

5. Cuando sientes emociones positivas (como alegría, felicidad o sorpresa), ¿te cuesta distinguir entre tener hambre física y hambre emocional?
Sí, me cuesta. No, no me cuesta. No como cuando no tengo hambre física

6. Cuando sientes emociones negativas (como tristeza, ansiedad o aburrimiento), ¿te cuesta distinguir entre tener hambre física y hambre emocional?
Sí, me cuesta. No, no me cuesta. No como cuando no tengo hambre física

7. ¿Cuáles de estas emociones sientes que te hacen comer más aunque no tengas hambre? (Puedes marcar varias)
Aburrimiento. Ansiedad o estrés. Tristeza. Enfado o irritación. Alegría o felicidad. Amor. Optimismo. Ninguna. Otro:

8. ¿Cuáles de estas emociones sientes que te hacen comer menos? (Puedes marcar varias)
Aburrimiento. Ansiedad o estrés. Tristeza. Enfado o irritación. Alegría o felicidad. Amor. Optimismo. Ninguna. Otro:

9. ¿En qué momento del día sueles tener más ganas de comer por emociones negativas, sin hambre física?
Mañana. Mediodía. Tarde. Noche. Nunca

10. ¿En qué momento del día sueles tener más ganas de comer por emociones positivas, sin hambre física?
Mañana. Mediodía. Tarde. Noche. Nunca

11. ¿Qué tipo de alimentos sueles elegir cuando comes por motivos emocionales, sin tener hambre física? (Puedes marcar varias)
Dulces (chocolates, golosinas…). Salados (patatas fritas, snacks…). Comida rápida. (hamburguesas, pizzas…). Fruta o frutos secos. Alimentos caseros. Otro:

12. Después de comer sin tener hambre física, ¿cómo te sientes normalmente?
Me siento culpable o arrepentido/a. Me siento bien. No me afecta. No como sin tener hambre física

13. ¿Crees que comer sin tener hambre física afecta negativamente a tu salud física o emocional?
Sí, mucho. Sí, un poco. No. No como sin tener hambre física

14. ¿Crees que aprender a manejar mejor tus emociones negativas podría ayudarte a controlar las ganas de comer sin hambre física?
Sí, mucho. Sí, un poco. No. No como sin tener hambre física

15. ¿Crees que aprender a manejar mejor tus emociones positivas podría ayudarte a controlar las ganas de comer sin hambre física?
Sí, mucho. Sí, un poco. No. No como sin tener hambre física

16. ¿Alguna vez has intentado dejar de comer por impulso emocional negativo y no lo has conseguido?
Sí. No. No lo he intentado. No como sin tener hambre física

17. ¿Alguna vez has intentado dejar de comer por impulso emocional positivo y no lo has conseguido?
Sí. No. No lo he intentado. No como sin tener hambre física

ANEXO 2

Cálculo del chi cuadrado (χ^2)

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

χ^2: Estadístico Chi cuadrado.
O_i : frecuencias observadas.
E_i: frecuencias esperadas.

$$E_i = \frac{n_{i.} * n_{.j}}{n}$$

OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE OVOCITOS FELINOS:

EFECTOS DE LA RECUPERACIÓN Y EL ALMACENAMIENTO SOBRE LA MADURACIÓN *IN VITRO*.

Sara Blanco Re

Tutora: Yolanda Genicio Salomón

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, he de agradecer a mi tutora, Yolanda Genicio Salomón, por aconsejarme, orientarme y acompañarme a lo largo de todo este proceso.

Mil gracias a la profesora María Jesús Sánchez Calabuig por haberme abierto las puertas de su laboratorio y haberme tratado como a una alumna de veterinaria más. Gracias por haberme introducido al mundo de la reproducción, entre pipetas y ovocitos.

Mi más sincero agradecimiento hacia las doctorandas Ana y Andrea, por enseñarme con dedicación y por ofrecerme su valioso tiempo. Gracias por resolver mis dudas y ayudarme siempre que lo necesitaba.

A mis padres, por darme la oportunidad de realizar mi trabajo en la Facultad de Veterinaria. Gracias por haberme inculcado esta pasión y por enseñarme el valor del esfuerzo. A mi "nonna", que a pesar de la distancia me da toda su fuerza y apoyo en los momentos difíciles.

A mis amigos, por estar siempre presentes y hacer que nunca me falte una sonrisa, gracias por acompañarme y apoyarme.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....56
2. ABSTRACT......56
3. INTRODUCCIÓN.....56
4. JUSTIFICACIÓN.....57
5. HIPÓTESIS.....58
6. OBJETIVOS.....58
7. MARCO TEÓRICO.....58
7.1. Fisioanatomía de la hembra.....58
7.2. Ciclo de la hembra.....59
7.3. Dinámica folicular.....60
7.4. Obtención de ovocitos.....62
7.5. La maduración.....62
7.6. Transporte de ovarios y ovocitos.....63
8. METODOLOGÍA.....64
8.1. Obtención de ovarios.....64
8.2. Obtención de ovocitos.....65
8.3. Grupos experimentales.....66
8.4. Maduración *in vitro*.....66
8.5. Tinción de ovocitos.....66
8.6. Análisis estadístico.....68
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....68
10. CONCLUSIONES.....71
11. GLOSARIO.....71
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....72

1. RESUMEN

El gato doméstico *(Felis catus)* se utiliza frecuentemente como modelo experimental para optimizar protocolos que posteriormente puedan aplicarse a especies amenazadas mediante el empleo de técnicas de reproducción asistida. Este trabajo se centra en el estudio de la maduración de ovocitos del gato doméstico obtenidos mediante dos técnicas diferentes. El objetivo fue determinar si el método de recogida de ovocitos, así como el tiempo transcurrido entre la recuperación y la maduración *in vitro* (MIV) tuvieron un efecto sobre la MIV. Se recuperaron un total de 514 ovocitos de 24 gatas. Se emplearon dos métodos de obtención de ovocitos: cortes ováricos o *slicing* (SLI) y aspiración folicular o *ovum pick-up* (OPU). A su vez, dichos grupos se dejaron 0h o 18h (tiempo de almacenamiento) en un medio de transporte previo a la maduración *in vitro*. Así, se distribuyeron en cuatro grupos: SLI 0 h, SLI 18 h, OPU 0 h y OPU 18 h. Todos los ovocitos se sometieron a maduración *in vitro* durante 28 horas y posteriormente se evaluó su estadio de maduración nuclear. Las técnicas de OPU y *slicing* mostraron una eficacia similar para la maduración de ovocitos. Los resultados también indicaron que, en el grupo SLI, el almacenamiento durante 18 horas aumentó el número de ovocitos degenerados y redujo significativamente la tasa de maduración, mientras que en OPU no se observaron diferencias significativas en la maduración entre el tiempo 0 y después de 18h de almacenamiento. Estos hallazgos sugieren que el protocolo de transporte evaluado puede servir como base para el desarrollo de estrategias de conservación y producción *in vitro* de embriones en felinos silvestres, aunque se requieren estudios adicionales para confirmar su eficacia y seguridad.

Palabras clave: Felinos, ovocito, maduración *in vitro*, transporte.

2. ABSTRACT

The domestic cat (Felis catus) is frequently used as an experimental model to optimize protocols that can later be applied to endangered species through assisted reproduction techniques. This study focuses on the maturation of domestic cat oocytes obtained using two different techniques. The aim was to determine whether the oocyte collection method, as well as the time between recovery and *in vitro* maturation (IVM), had an effect on IVM. A total of 514 oocytes were recovered from 24 females. Two oocyte retrieval methods were used: ovarian *slicing* (SLI) and follicular aspiration or *ovum pick-up* (OPU). Each group was stored for either 0 h or 18 h in a transport medium before *in vitro* maturation. Thus, four groups were formed: SLI 0 h, SLI 18 h, OPU 0 h, and OPU 18 h. All oocytes were matured in vitro for 28 hours, and their nuclear maturation stage was then evaluated.

The OPU and *slicing* techniques showed similar effectiveness for oocyte maturation. Results also indicated that in the SLI group, 18 hours of storage increased the number of degenerated oocytes and significantly reduced the maturation rate, whereas in the OPU group no significant differences in maturation were observed between 0 h and 18 h of storage. These results suggest that the evaluated transport protocol may serve as a basis for developing conservation strategies and in vitro embryo production in wild felids, although additional studies are needed to confirm its effectiveness and safety.

Keywords: Felid, Oocyte, *In vitro* maturation, Transport.

3. INTRODUCCIÓN

Los principales motivos por los que los ovocitos de gato son objeto frecuente de estudio, incluyen el número creciente de gatos como mascotas, la similitud que presentan con los ovocitos humanos y el empleo de la gata doméstica como modelo reproductivo en los programas de conservación de felinos silvestres en peligro de extinción.

En relación con el primer aspecto, la presencia de carnívoros domésticos se ha ido incrementando en la sociedad actual. La atención frecuente de gatos en clínicas veterinarias demuestra el aumento de la importancia de estos animales en relación con la actividad humana. Su comportamiento y reproducción dependen de factores genéticos y climáticos, por lo que su cuidado y planificación son cada vez más importantes para sus dueños (Menéndez Brito et al., 2019).

Además de su valor emocional, el gato representa un modelo accesible y valioso para el estudio de ciertas enfermedades que también afectan a la reproducción humana (Maldonado Villamizar & Aquino Guerra, 2016). Diversos

estudios han evidenciado una notable similitud de los mecanismos reproductivos entre humanos y especies felinas. Los gatos tienen características morfológicas más similares a la mujer respecto a las observadas en el modelo tradicional del ratón de laboratorio, lo que convierte al gato en un modelo adecuado para investigar síndromes de infertilidad en mujeres (Rojo et al., 2015).

Las similitudes con los humanos, junto con los avances en la investigación reproductiva de estos, permiten que los felinos silvestres se beneficien de técnicas de reproducción avanzadas (Sanchez & Silva, 2002). La mayoría de las poblaciones de los felinos silvestres (familia Felidae) están en declive, siendo más grave en ejemplares como el gato del desierto *(Felis margarita)*, el jaguarundi *(Herpailurus yagouaroundi)* o el ocelote *(Leopardus pardalis)* según los datos de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza *(The IUCN Red List of Threatened Species, s.f.)*. Esta situación está provocada por factores como la pérdida del hábitat y fuentes de alimentación, la caza furtiva y el comercio ilegal. Además, estas especies se ven afectadas por la fragmentación del hábitat y el cambio climático, que alteran o disminuyen la variabilidad genética. Esto hace imprescindible establecer estrategias de conservación de las especies, como en el caso del lince ibérico *(Lynx pardinus)*, en el que se han implementado con éxito programas de cría en cautividad y su reintroducción en el hábitat natural. Gracias a estas acciones, la especie ha pasado de estar catalogada como 'en peligro de extinción' a 'vulnerable' en la lista roja de especies amenazadas de la IUCN.

Además de su utilidad como modelo biológico, el gato doméstico puede actuar como receptor de embriones en programas de reproducción asistida. Esto permite, por ejemplo, que embriones de felinos salvajes más pequeños, como el gato del desierto indio *(Felis sylvestris ornata)* se desarrollen en gatas domésticas (Pope, 2000). Esto demuestra su utilidad práctica en la conservación de especies silvestres y en la mejora de las técnicas de reproducción asistida (TRA). Estas técnicas permiten obtener, madurar, fertilizar y conservar ovocitos y embriones, aunque su eficacia en felinos es todavía considerablemente menor que en humanos, animales de producción o de laboratorio, lo que hace necesario seguir investigando y perfeccionando estos métodos. Entre las TRA más utilizadas en felinos domésticos y en especies silvestres, se incluyen la inseminación artificial, la obtención de ovocitos en hembras y de semen en machos, la maduración y fertilización in vitro de ovocitos, el cultivo y la transferencia de embriones, así como la criopreservación (conservación mediante la congelación) de gametos y embriones (Sowińska, 2021).

De todos modos, la implementación de las TRA en estas especies tiene limitaciones relacionadas con la disponibilidad de gametos y el gran valor de los individuos restantes, que no se pueden someter a técnicas que puedan comprometer su salud o reproducción (Munoz-Maceda et al., 2024). Por ejemplo, en zoológicos de América del Norte y Europa, solo 20 de las 38 especies de félidos silvestres del mundo están incluidas en programas reproductivos estructurados, y muchos de ellos no son viables solo mediante reproducción natural. Las TRA, como la inseminación artificial (IA), han tenido un éxito limitado: solo 62 especies de mamíferos (incluidas 15 de félidos) han sido reproducidas mediante IA, y solo 6 especies de felinos han logrado crías a partir de semen congelado. Estos resultados subóptimos se deben a la falta de conocimientos reproductivos específicos por especie, al acceso limitado a animales para su estudio y a una desconexión entre la ciencia y la conservación, que intenta aplicar tecnologías avanzadas sin antes establecer las bases científicas necesarias (Swanson, 2023).

4. JUSTIFICACIÓN

Las técnicas de reproducción asistida (TRA) son una herramienta indispensable en numerosos programas de conservación de félidos (Zahmel et al., 2019). Una de las principales dificultades en la aplicación de TRA en felinos salvajes es el manejo de los gametos (espermatozoides y ovocitos), especialmente cuando los ovarios deben transportarse a laboratorios especializados, habitualmente ubicados en zonas lejanas. En animales salvajes, es común obtener gametos de ejemplares que mueren o se castran, por lo que no siempre es posible procesar los ovocitos inmediatamente después de su recuperación (Colombo et al., 2021) debido al traslado, sus limitaciones logísticas y a la disponibilidad de personal especializado.

El gran número de gatos domésticos sometidos a procesos de castración proporciona una amplia disponibilidad de material reproductivo de machos (testículos y semen) y

de hembras (ovarios y ovocitos) que permite optimizar los protocolos de reproducción asistida, favoreciendo la conservación genética y mejorando la eficiencia de las técnicas reproductivas en gatos domésticos y felinos silvestres (criopreservación o cultivo *in vitro*).

Actualmente, al contrario que en otras especies, en felinos no se han realizado estudios sobre las condiciones idóneas para el transporte de los ovocitos. Por ello, es esencial estudiar la temperatura y el medio de almacenamiento durante el transporte y determinar cuánto tiempo pueden conservarse sin comprometer su calidad, ya que periodos prolongados o condiciones inadecuadas pueden afectar negativamente su viabilidad y, por tanto, su maduración y capacidad reproductiva.

5. HIPÓTESIS

La hipótesis planteada es que, tanto el corte ovárico *(slicing)* como la aspiración folicular (*Ovum Pick Up*, OPU) son técnicas que permiten obtener tasas de maduración adecuadas. Por otro lado, se considera que el almacenamiento de los ovocitos a temperatura ambiente durante 18 horas afecta de forma negativa a la maduración *in vitro*.

6. OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio fue evaluar el efecto de dos técnicas de recuperación y el almacenamiento durante 18h a temperatura ambiente sobre la viabilidad y la capacidad de maduración *in vitro* de los ovocitos felinos.

Además, como objetivo específico se buscó analizar si el uso de un medio de mantenimiento comercial (EquiHold Minitube®) resulta eficaz para preservar la viabilidad de los ovocitos felinos durante un periodo de conservación de 18 horas.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Fisioanatomía de la hembra

El aparato reproductor de la gata está compuesto por estructuras bien definidas cuya morfología puede variar ligeramente según la etapa del ciclo reproductivo, la madurez sexual y si la hembra ha tenido camadas previas. Está formado por: ovarios, oviductos, útero bicornual, cérvix, vagina y vulva (Figura 1).

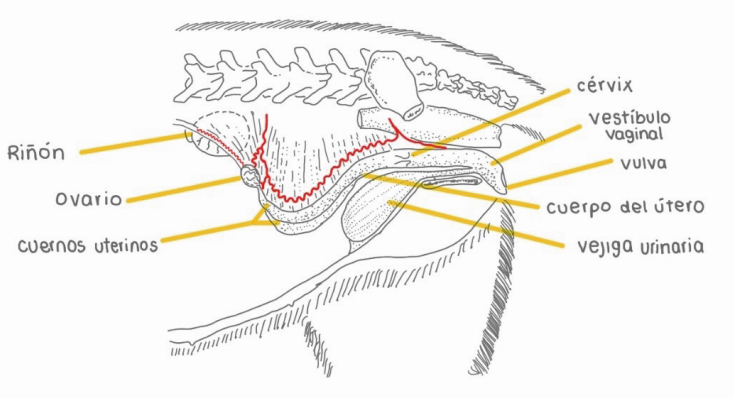


Figura 1. Esquema modificado de los órganos genitales de la gata (König & Liebich, 2005, p.135).

Los **ovarios** son dos órganos pares localizados en la región caudal de los riñones que desempeñan un papel fundamental en la reproducción, ya que producen y maduran los ovocitos (células germinales femeninas). Además, cumplen funciones endocrinas y exocrinas: por un lado, producen hormonas sexuales como estrógenos y progesterona, que regulan el ciclo reproductivo, y por otro, preparan y liberan los ovocitos durante la ovulación. Anatómicamente, los ovarios de la gata tienen forma ovalada y están formados por dos partes: la corteza y la médula. La corteza, ubicada en la parte externa, contiene todos los folículos ováricos en distintas etapas de desarrollo. Cada folículo alberga un ovocito en desarrollo rodeado de células que lo protegen, lo nutren y participan en la producción hormonal. La médula, situada en la parte interna, contiene los vasos sanguíneos y los nervios que nutren al órgano.

Los ovarios están envueltos por la **bursa ovárica**, un saco formado por el **mesovario** y el **mesosalpinx**, que asegura su sujeción en la cavidad abdominal (Huijsmans et al., 2023).

Los **oviductos** de la gata son conductos largos y sinuosos que conectan el ovario con el útero, formados por varias partes: infundíbulo, fimbria, ampolla e istmo. Estos se mantienen en su lugar gracias al **mesosalpinx**, una estructura ligamentosa. La fertilización tiene lugar en la unión entre la ampolla y el istmo, donde los espermatozoides se encuentran con los ovocitos que llegan al borde de la ampolla. El oviducto desemboca en el útero a través de una pequeña estructura de músculo liso en forma de papila (Johnson, 2022).

El **útero** es de tipo bicorne y presenta un cuerpo corto, del que se extienden dos cuernos uterinos rectos, en forma de "V", que se disponen lateralmente a la vejiga urinaria. Anatómicamente, el útero se encuentra en la cavidad pélvica, entre el recto y la uretra (König & Liebich, 2005).

Entre la capa serosa externa del útero y su revestimiento interno (el endometrio) se encuentra el **miometrio**, compuesto por músculo liso. Esta capa muscular desempeña funciones esenciales en la contracción uterina durante el parto y en el transporte de espermatozoides durante la reproducción (Johnson, 2022).

El útero se continúa caudalmente con el **cérvix**, una estructura muscular engrosada que actúa como conducto entre el útero y la vagina. El orificio externo del cérvix da paso a la porción craneal de la vagina, donde se encuentra el **fornix vaginal**. En la zona dorsal de la vagina, caudal al cérvix, se localiza el **pliegue dorsal medio**, cuya prominencia varía a lo largo del ciclo estral, aumentando de tamaño durante el celo. Estos cambios morfológicos pueden dificultar la inseminación artificial transcervical, ya que reducen el diámetro vaginal y alargan el fórnix (Johnson, 2022; Kutzler, 2022).

La **vagina** de la gata continúa caudalmente con el **vestíbulo vaginal**, que se conecta directamente con la **vulva**, ubicada en el periné, cerca del ano, y formada por dos labios dorsales. Durante el estro, la vulva puede presentarse hinchada, debido a una acumulación de líquido (edema vulvar), aunque este signo es menos evidente que en otras especies, como la perra.

7.2. Ciclo de la hembra

Las gatas son animales poliéstricos estacionales, es decir, presentan varios ciclos reproductivos durante la época del año en la que los días son más largos (primavera y verano en el hemisferio norte), seguidos por periodos de inactividad llamados anestros.

La pubertad aparece generalmente entre los 6 y 12 meses de edad, cuando la gata alcanza un peso superior a los 2–3 kg, lo que representa aproximadamente el 80% de su peso adulto. Sin embargo, la edad de aparición puede variar según la época del año en que nació y las diferencias raciales; por ejemplo, las razas de pelo largo tienden a alcanzar la pubertad más tarde que las de pelo corto, y las razas pequeñas suelen madurar antes que las de mayor tamaño (Johnson, 2022).

El ciclo estral en los felinos consta de varias fases: proestro, estro, interestro y, si se produce la ovulación, diestro (Figura 2).

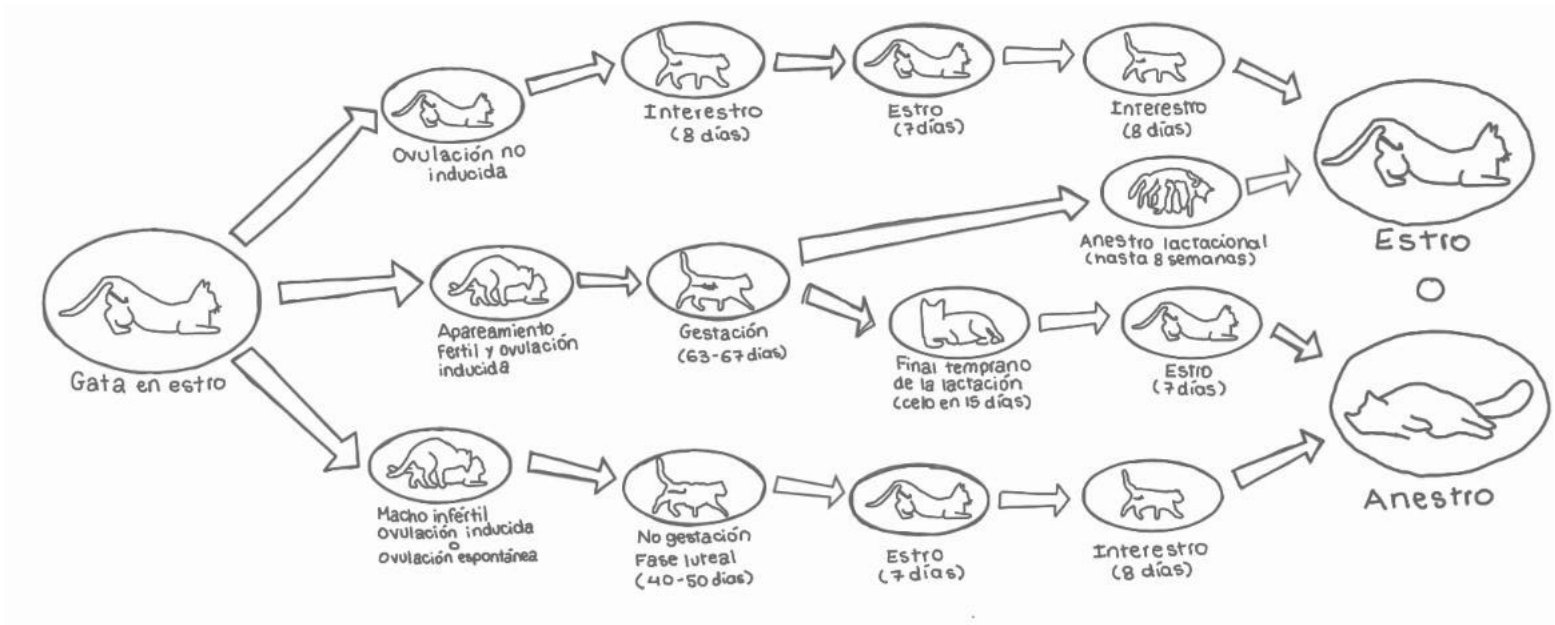


Figura 2. Esquema modificado del ciclo estral en gatas (Kutzler, 2022, p.20).

El **proestro** y el estro constituyen la fase conocida popularmente como "celo". El proestro, que dura entre 24 y 48 horas, se caracteriza por un incremento en los niveles de estrógenos. Estos cambios hormonales provocan alteraciones leves en el comportamiento de la hembra y modificaciones en la arquitectura vaginal, preparándola para la cópula y una posible gestación (Johnson, 2022).

Posteriormente, durante el **estro**, fase que dura aproximadamente 9 días, se alcanzan los niveles máximos de estrógenos. En esta etapa se produce el inicio del crecimiento de los folículos y la formación de folículos maduros, junto con la manifestación de comportamientos típicos de celo de forma más evidente: incremento notable de los maullidos, posturas de lordosis (arqueamiento del dorso), frotamiento contra objetos, rodamiento sobre sí misma, lateralización de la cola y aceptación de la monta.

A diferencia de otras especies, las gatas requieren del estímulo de varias cópulas para ovular, ya que son ovuladoras inducidas por la monta (Johnson, 2022). Durante el apareamiento, las espículas, protuberancias presentes en el pene del macho estimulan la vagina de la hembra, lo que provoca la liberación de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) desde el hipotálamo. Esta, a su vez, estimula la hipófisis para secretar las hormonas foliculoestimulante (FSH) y luteinizante (LH). La LH alcanza su concentración máxima entre 2 y 4 horas después de la cópula, lo que desencadena la ovulación en un periodo de 24 a 48 horas. La cantidad de montas influye directamente en este proceso: son necesarios entre tres y cuatro apareamientos en un corto intervalo (menos de 24 horas) para asegurar una elevación adecuada de LH y favorecer la ovulación. Cabe señalar que, aunque la ovulación en las gatas es usualmente inducida, se ha registrado una incidencia de ovulación espontánea en un 35 a 60% de los casos. Esta puede estar relacionada con factores como la presencia de machos y la influencia de sus feromonas o la convivencia con otras hembras en celo (Banks & Stabenfeldt, 1982; Gudermuth et al., 1997; Menéndez Brito et al., 2019).

En caso de que se produzca la ovulación, la hembra entra en **diestro**, fase caracterizada por la transformación de los folículos ovulados en cuerpos lúteos, estructuras que producen niveles elevados de progesterona. En esta etapa, pueden presentarse dos escenarios: si la fecundación ha tenido lugar, se inicia la gestación; de lo contrario, en ausencia de una monta exitosa, la gata desarrollará una pseudogestación. En ambos casos, se mantiene la secreción de progesterona, aunque con concentraciones más altas en el caso de gestación. En ausencia de cópula, la gata entra en una fase de **interestro**, que suele durar alrededor de 9 días, tras la cual reanuda el ciclo con un nuevo período de celo.

La etapa final del ciclo estral es el **anestro**, caracterizado por la ausencia de actividad reproductiva y generalmente asociado con los meses de menor duración de los días (otoño e invierno). Por esta razón, su duración es variable, pudiendo extenderse desde 15 hasta 100 días. Durante el anestro, los niveles hormonales de estrógenos y progesterona permanecen en valores basales, mientras que aumenta la concentración de otras hormonas, principalmente la melatonina y la prolactina.

Si bien existen técnicas para alterar el ciclo estral en la gata, estas modificaciones no suelen recomendarse debido a que pueden ocasionar alteraciones en el comportamiento maternal (Zambelli & Cunto, 2022). Entre los métodos para inducir cambios se encuentran la regulación del fotoperiodo, mediante el ajuste de las horas de exposición a la luz, y la administración de gonadotropinas exógenas, que promueven la reactivación de la actividad folicular (Johnson, 2022; Zambelli & Cunto, 2022).

7.3. Dinámica folicular

El folículo ovárico es la unidad funcional del ovario, una estructura pequeña que contiene un ovocito inmaduro rodeado de células. Su estructura varía a medida que el folículo madura, pero en las etapas avanzadas se pueden distinguir varias partes fundamentales. En el centro se encuentra el ovocito, que es la célula germinal o gameto femenino y está envuelto por una capa acelular llamada zona pelúcida, cuya función es regular el reconocimiento por parte de los espermatozoides y proteger al embrión en sus primeras etapas.

Rodeando directamente al ovocito se encuentran las células de la granulosa, que no solo lo nutren y regulan su maduración, sino que también son responsables de la producción de estrógenos y otros factores esenciales para el desarrollo folicular. El complejo cúmulo-ovocito es la estructura formada por el ovocito y las células de la granulo-

sa que lo rodean estrechamente, proporcionándole soporte nutricional y regulando su crecimiento y maduración. Entre las células de la granulosa y la capa externa del folículo se encuentra la membrana basal, una barrera selectiva que separa a las células de la granulosa de la teca, la capa de células que envuelve al folículo.

La teca, a su vez, está dividida en dos capas: la teca interna y la externa. La interna, rica en vasos sanguíneos, deriva del estroma ovárico, definido como tejido conjuntivo y células que constituyen la estructura del ovario. Esta capa posee receptores hormonales y produce andrógenos que luego las células de la granulosa transforman en estrógenos. Por fuera de esta, la teca externa está compuesta por tejido conectivo y fibras musculares lisas, brindando soporte estructural al folículo y contribuyendo a la contracción necesaria para la ovulación.

Según su estado de maduración se distinguen cuatro tipos de folículos, que se muestran junto a sus características principales en la figura 3.

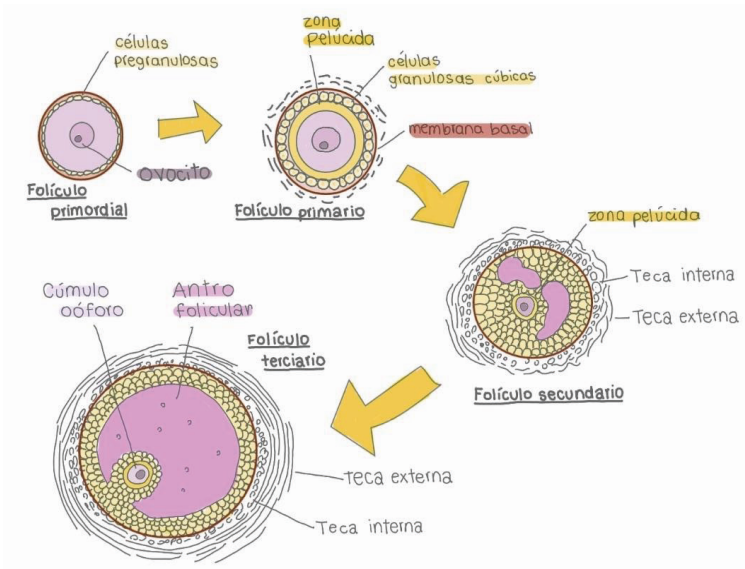


Figura 3. Esquema de los distintos folículos y sus características principales (elaboración propia).

Los **folículos primordiales** se caracterizan por poseer una sola capa de células pregranulosas aplanadas que rodean directamente a un ovocito de 20–30 µm de diámetro (considerando que una micra equivale a una milésima de milímetro) (Kutzler, 2022).

El **folículo primario** es de mayor tamaño, presenta una zona pelúcida bien definida y una única capa de células granulosas de morfología cuboidal, separadas del estroma ovárico por una membrana basal (Kutzler, 2022).

El **folículo secundario** se define por la presencia de dos o más capas concéntricas de células granulosas alrededor del ovocito, y por una zona pelúcida más desarrollada. En esta etapa, comienzan a diferenciarse las células de la teca folicular a partir del estroma circundante, formándose una capa interna (teca interna) con función secretora de esteroides y una capa externa (teca externa) con función principalmente estructural y de sostén. El ovocito continúa su crecimiento y el folículo experimenta un incremento progresivo de su diámetro (Kutzler, 2022).

Los **folículos terciarios** son grandes y varían en tamaño de 400 a 1000 µm de diámetro. Además de un mayor número de capas de células de la teca, la característica principal de un folículo terciario (antral) es la aparición del antro folicular, que se llena de líquido folicular. Este líquido proporciona nutrientes al ovocito y permite que el folículo aumente de tamaño para su desarrollo adecuado. Dentro del antro, el ovocito permanece rodeado por una agrupación especial de células de la granulosa conocida como cúmulo oóforo, que lo conecta con la pared folicular y juega un papel clave en su nutrición y comunicación celular (Kutzler, 2022).

En gatas que aún no han alcanzado la pubertad, existen más de 300 folículos primordiales, 25 folículos primarios y 9 folículos secundarios por mm^2 de corteza ovárica, cifra que no cambia de forma significativa después de la pubertad (Mehl et al., 2017).

Durante el anestro, la superficie ovárica es lisa, y los folículos preantrales solo son visibles mediante examen histológico. A medida que se aproxima el estro, de tres a siete folículos comienzan a crecer, mientras que el resto se degenera y reabsorbe (atresia). La mayor parte del desarrollo folicular ocurre en los dos días previos al inicio del comportamiento de estro.

En el momento de la ovulación, los folículos felinos alcanzan un diámetro de 2 a 3 mm y pueden observarse mediante ecografía abdominal.

De todos modos, los cambios foliculares en la gata (crecimiento, ovulación o atresia) a lo largo de la fase de estro han sido escasamente documentados (Malandain et al., 2011).

7.4. Obtención de ovocitos

La recolección de ovocitos en gatas es un proceso fundamental para la reproducción asistida y puede realizarse mediante diferentes técnicas, generalmente tras la esterilización o muerte del animal. Los métodos más comunes para obtener ovocitos incluyen la aspiración folicular (OPU) y el corte del tejido ovárico *(slicing)*. El método más adecuado depende de la especie y las condiciones específicas del procedimiento (Huijsmans et al., 2023), teniendo en cuenta que la OPU se puede realizar también en gatas vivas, bajo anestesia. Para preservar la viabilidad de los ovocitos, es recomendable almacenar los ovarios en una solución salina con antibióticos durante su traslado al laboratorio. Cuando la recolección se realiza dentro de las seis horas posteriores a la extracción, los ovarios pueden conservarse a temperatura ambiente sin que se afecte la capacidad de desarrollo de los ovocitos, mientras que, si el tiempo va a ser superior, se recomienda conservarlos en refrigeración (4 ºC).

La etapa del ciclo reproductivo en la que se encuentran los ovarios en el momento de la extracción influye significativamente en la maduración y fertilización *in vitro* de los ovocitos.

7.5. La maduración

La maduración *in vitro* (MIV) es una técnica que permite cultivar ovocitos inmaduros en un entorno controlado que imita las condiciones del folículo ovárico. En gatos, depende de diversos factores, como el estado del ciclo estral, la calidad del complejo cúmulo-ovocito y el tiempo de cultivo.

El gato es una especie en la que la maduración de ovocitos y la fertilización *in vitro* pueden lograrse con tasas de éxito parecidas a las observadas en el ganado bovino, donde aproximadamente el 55 % de los ovocitos maduran (Kim et al., 1990) y alrededor del 60-70% se fecundan *in vitro*.

Durante la MIV, ocurren importantes cambios en el ovocito, tanto a nivel citoplasmático como en la membrana celular, lo que altera las interacciones entre el ovocito y las células foliculares circundantes. Al mismo tiempo, dentro del núcleo, el ovocito expulsa el primer corpúsculo polar, una pequeña estructura que se produce cuando el ovocito termina su primera división meiótica, conteniendo la mitad del material genético y una pequeña parte de citoplasma.

Los ovocitos se clasifican en cinco categorías según su grado de maduración y desarrollo (Figura 4): los ovocitos inmaduros o en la fase de **vesícula germinal** presentan un núcleo grande y visible y aún no han iniciado la primera división meiótica; los ovocitos en **metafase I (MI)** han comenzado la meiosis, con el material genético en proceso de condensación, pero aún no han expulsado el primer corpúsculo polar; los ovocitos en **metafase II (MII)** han completado la primera división meiótica, han expulsado el primer corpúsculo polar y se consideran maduros, listos para la fecundación; en los ovocitos con **corpúsculo polar (CP)** se observa este pequeño cuerpo expulsado, confirmando la finalización de la meiosis I; y finalmente, los ovocitos en fase de **pronúcleo (PN)** muestran dos núcleos esféricos señalando que ha comenzado la segmentación del ovocito no fecundado.

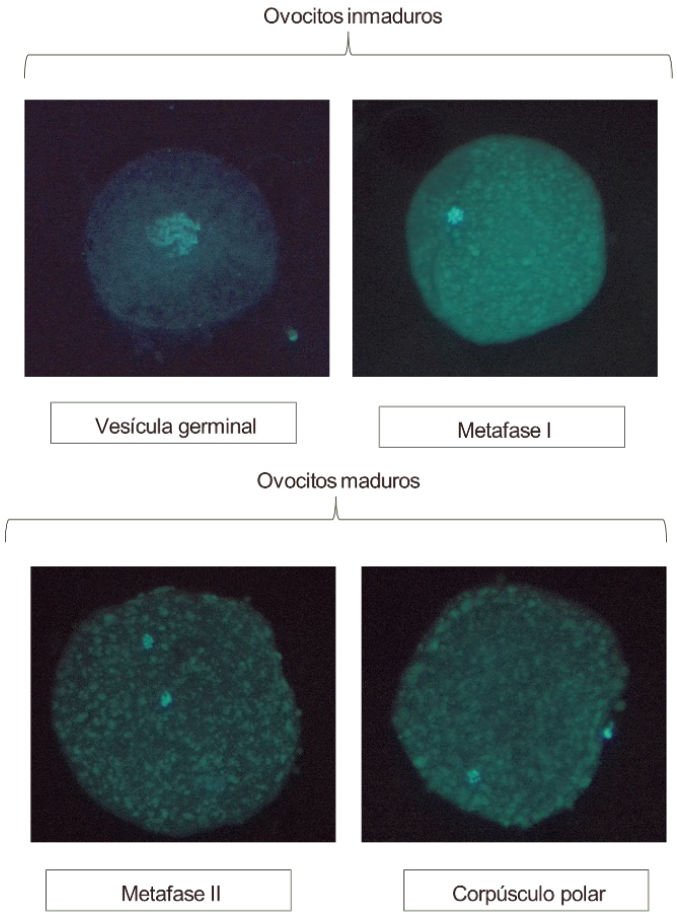


Figura 4. Clasificación de los ovocitos según su grado de maduración y desarrollo.

A pesar de los avances en esta tecnología y al contrario de otras especies como l bovina, donde se alcanzan tasas de maduración del 90%, solo entre el 50% y el 60% de los ovocitos

felinos logran completar la maduración nuclear *in vitro*. De estos, menos del 57% son fertilizados con éxito mediante fecundación *in vitro*, y apenas alrededor del 30% llegan al estadio embrionario de blastocisto (Munoz-Maceda et al., 2024).

Se ha demostrado que diversos factores, como la estación del año, las condiciones del cultivo y la calidad morfológica de los ovocitos, influyen directamente en la competencia meiótica y en el desarrollo *in vitro* de ovocitos de gatos domésticos. Entre estos factores, la estacionalidad destaca como uno de los más determinantes, ya que durante la temporada reproductiva se observan ovocitos de mayor calidad y mejores tasas de desarrollo (Pope et al., 2006).

Evaluar el estado de maduración de los ovocitos es fundamental para determinar su capacidad de ser fecundados y para optimizar los protocolos de maduración *in vitro* (MIV). Esta evaluación puede realizarse mediante dos enfoques principales: la identificación del estadio meiótico y la valoración del citoplasma. Para determinar el estadio meiótico, se emplea la visualización directa del núcleo o de las estructuras cromosómicas utilizando fluorocromos combinado con una tinción específica (Chazotte, 2011).

La evaluación de la maduración citoplasmática se basa principalmente en criterios morfológicos y funcionales. Los ovocitos competentes presentan un citoplasma homogéneo, oscuro y rico en organelas, indicativo de una reserva adecuada de nutrientes y factores maternales. Estos ovocitos suelen estar rodeados de cúmulos compactos, con una disposición organizada de gotas lipídicas y mitocondrias en estrecha asociación (Bragiel et al., 2025). El tamaño ovocitario, cercano a 110 μm sin zona pelúcida, indica un estado avanzado de maduración (Figura 5).

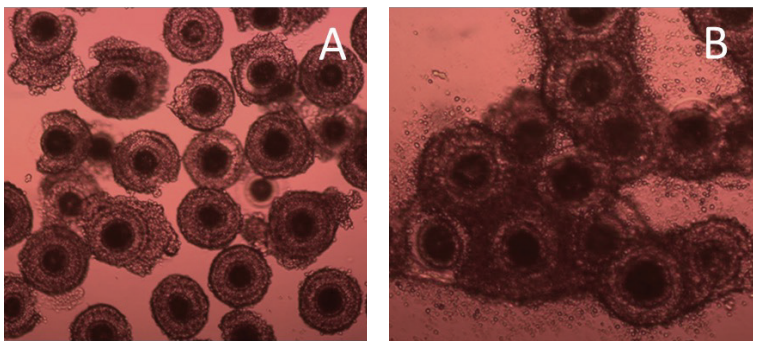


Figura 5. A: Ovocitos inmaduros. B: Ovocitos tras la maduración *in vitro*.

En los gatos sexualmente maduros, los ovocitos pertenecientes a folículos más grandes poseen mayor habilidad de maduración in vitro, mientras que en los gatos prepúberes se obtiene una tasa de maduración mayor de ovocitos derivados de folículos pequeños (Uchikura et al., 2011). Para determinar que se ha completado la maduración, el ovocito debe ser capaz de fecundarse y transformarse en embrión hasta al menos la fase de blastocisto. Sin embargo, esta capacidad, se ve reducida si el ovario ha sido almacenado durante más de 24 horas antes de la recuperación ovocitaria (Wolfe & Wildt, 1996).

7.6. Transporte de ovarios y ovocitos

La preservación y transporte adecuado de tejidos reproductivos, como los ovarios, representa una herramienta fundamental en el ámbito de la biotecnología de la reproducción. Estos procedimientos permiten el uso posterior del material genético para técnicas como la maduración *in vitro* de ovocitos (MIV), la fecundación *in vitro* (FIV), la criopreservación y la transferencia embrionaria. Uno de los factores críticos que condiciona el éxito de estas técnicas es el método utilizado para el transporte del tejido ovárico, que debe asegurar la viabilidad celular, la integridad estructural de los folículos y la funcionalidad de los ovocitos durante el tiempo transcurrido entre la colecta y su procesamiento en laboratorio (Ochota et al., 2023).

En términos generales, la temperatura, el medio de transporte, la duración del almacenamiento y la presencia de agentes protectores (como antioxidantes) son variables determinantes para conservar la competencia meiótica y el potencial de desarrollo de los ovocitos (Comizzoli et al., 2004; Ochota et al., 2023). Estas condiciones son aún más relevantes en especies de alto valor genético, donde la investigación es más limitada y la disponibilidad de individuos reproductivos es escasa (Paris et al., 2004).

En la especie felina, tanto doméstica como silvestre, el transporte adecuado de los ovarios es muy importante, debido a su aplicación en programas de conservación de especies en peligro y en la gestión de bancos de germoplasma, donde se conserva material biológico como ovocitos y espermatozoides. Dado que muchos procedimientos de rescate de material genético se realizan en zonas alejadas de centros especializados, mejorar las condiciones de

transporte de los ovarios, permite recuperar ovocitos viables incluso varias horas después de su recogida o después del fallecimiento del animal (Colombo et al., 2021; Luu et al., 2013). Esto no solo amplía las posibilidades de reproducción asistida en gatos domésticos y silvestres, sino que también representa una estrategia básica para preservar la diversidad genética en poblaciones felinas amenazadas (Kochan et al., 2019).

Se han desarrollado técnicas para el almacenamiento a corto plazo de ovarios en varias especies, como ovinos, caprinos, bovinos, porcinos y equinos. La mayoría de los estudios realizados hasta ahora, han limitado su análisis a la evaluación de las características morfológicas de los folículos preantrales mediante estudios histológicos, después de conservar el tejido ovárico bajo distintas condiciones de temperatura, tiempo y medio de almacenamiento (Gonçalves et al., 2015).

En el ámbito de la reproducción bovina, es frecuente la obtención de ovarios en mataderos para su posterior punción en laboratorio. Durante el transporte, habitualmente, estos órganos se conservan sumergidos en soluciones isotónicas, comúnmente suplementadas con antibióticos para prevenir el crecimiento microbiano. Se ha demostrado que mantener los ovarios a 4 °C durante 18 horas, o a temperatura ambiente (20 °C) por un máximo de 6 horas, no afecta significativamente a la integridad morfológica de los folículos, mostrando resultados similares a los obtenidos con tejido ovárico fresco (Lucci et al., 2004). De manera similar, en el gato doméstico se ha observado que el transporte de los ovarios a 4 °C durante 24 horas permite conservar el tejido ovárico y los folículos preantrales con daños mínimos sin afectar de manera significativa al desarrollo de los ovocitos. Estos datos sugieren que el transporte a bajas temperaturas reduce la actividad metabólica, lo cual minimiza las lesiones en el tejido. En cambio, un almacenamiento más prolongado influye negativamente en la maduración y en el crecimiento embrionario, que tiene lugar después de la fertilización *in vitro* (Ochota et al., 2023; Vilela et al., 2021).

Sin embargo, aún no está claro qué cambios se producen a nivel citoplasmático ni cómo influyen en la calidad y viabilidad de los ovocitos tras el almacenaje y transporte.

A diferencia del transporte de ovarios, el transporte de ovocitos en felinos presenta una gran limitación debido a la falta de investigaciones que determinen las condiciones óptimas para su conservación. Por este motivo, resulta de interés estudiar los protocolos utilizados en otras especies, considerando el medio de mantenimiento y transporte y las condiciones en las que se realiza este traslado, con el objetivo de desarrollar nuevos procedimientos adaptados a los felinos.

El medio de transporte debe reproducir, en la medida de lo posible, las condiciones fisiológicas del ambiente folicular en el que se desarrollan de forma natural en el ovario. Además, debe proporcionar fuentes de energía, protección frente al estrés oxidativo, regular la presión osmótica y el pH, y prevenir la contaminación bacteriana. En este estudio se ha empleado un medio comúnmente utilizado en técnicas de reproducción asistida en yeguas (EquiHold Minitube®) ya que, a diferencia de otras especies, no se han realizado hasta el momento investigaciones sobre las condiciones idóneas para el transporte de ovocitos en gatos.

8. METODOLOGÍA

Para la búsqueda y selección de artículos científicos se utilizó la plataforma PubMed, que destaca por su importancia en el ámbito de ciencias de la salud. Para organizar la bibliografía y citar las fuentes consultadas en el texto se empleó el gestor bibliográfico Zotero. Las imágenes y esquemas utilizados son de elaboración propia, salvo en aquellos casos en los que se identifica expresamente otra fuente.

8.1. Obtención de ovarios

Se utilizaron un total de 24 ovarios procedentes de 12 gatas en distintas fases del ciclo estral, cuyas edades oscilaban entre los 2 y los 8 años. Las gónadas (Figura 6) se obtuvieron mediante un procedimiento quirúrgico denominado ovariohisterectomía, también conocido como esterilización, en el que se extirpan ambos ovarios junto con el útero. Estas intervenciones se realizaron entre enero y febrero de 2025 en diversas clínicas veterinarias colaboradoras, como el Centro Municipal de Gestión de Colonias Felinas de Madrid. Los ovarios se transportaron en recipientes estériles con solución salina a 37ºC aproximadamente en las 3 horas posteriores a la extracción, hasta el Laboratorio de Reproducción de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid, donde se procesaron.

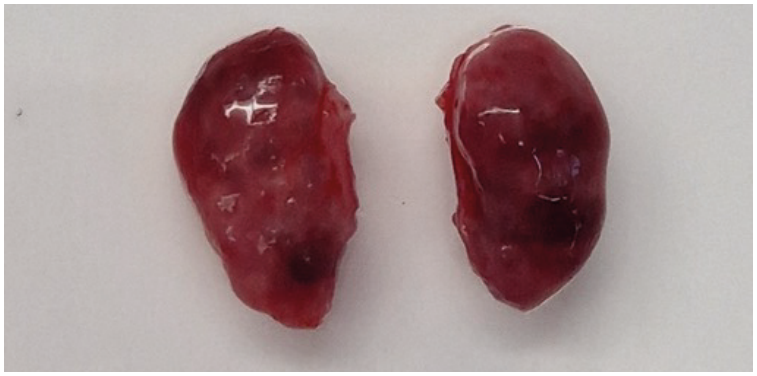


Figura 6. Ovarios felinos.

8.2. Obtención de ovocitos.

Se recuperaron los ovocitos inmediatamente tras la llegada de los ovarios al laboratorio, mediante dos métodos distintos:

- Slicing (n=12):

Técnica de obtención de ovocitos que consiste en realizar numerosas incisiones sobre el tejido ovárico con un bisturí, con el objetivo de liberar los ovocitos en distintas fases de desarrollo y nivel de maduración de los folículos. Para ello, en primer lugar, los ovarios se diseccionaron en una placa de Petri para eliminar el tejido adherido al ovario, que dificulta la visualización de los ovocitos. Posteriormente, cada ovario se colocó en una placa de Petri previamente atemperada a 38,5ºC mediante una pletina calefactora. La recuperación de los ovocitos se realizó bajo una lupa y se trasladaron mediante el uso de una pipeta de vidrio conectada a un chupete de aspiración a una placa de Petri para su evaluación morfológica y selección. La selección de los ovocitos se realizó siguiendo la clasificación morfológica descrita por Wood y Wildt (Wood & Wildt, 1997), basada en la evaluación de la apariencia citoplasmática y el número de capas de células del cúmulo que rodean al ovocito, estableciendo cuatro grados. Según estos criterios, el **grado I** incluye aquellos ovocitos que presentan un citoplasma opaco y homogéneo, rodeados de cinco o más capas de células del cúmulo; el **grado II** corresponde a ovocitos con citoplasma uniforme y entre dos y cuatro capas de células del cúmulo; el **grado III** abarca ovocitos con signos de fragmentación citoplasmática, zona pelúcida completa y células del cúmulo parcialmente ausentes; y finalmente el **grado IV** incluye ovocitos con fragmentación citoplasmática.

- *Ovum Pick Up* (OPU) *ex vivo* (n=12):

Esta otra técnica de recuperación de ovocitos consiste en la punción ecoguiada de los folículos mediante el uso de una bomba de aspiración.

Para la realización del experimento, los ovarios se puncionaron *"ex vivo"* intentando imitar las condiciones de la OPU *"in vivo"* para poder estudiar el efecto de la aspiración en los ovocitos recuperados. Para ello se utilizó una bomba de vacío conectada a un sistema compuesto por un tubo y una aguja (Figura 7).

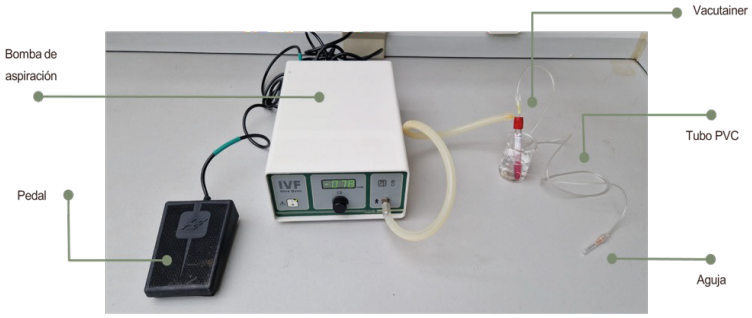


Figura 7. Sistema de bomba de vacío utilizado para la recolección de ovocitos mediante la técnica OPU *ex vivo*.

Se aspiraron todos los folículos visibles de forma ordenada y lenta para recoger el fluido folicular. Una vez puncionados, se realizaron múltiples lavados del sistema, para asegurar la recuperación de todos los ovocitos restantes. El contenido del tubo se vertió sobre una placa de Petri para la búsqueda y selección de los ovocitos recuperados (Figura 8), empleando la misma clasificación desarrollada para el grupo del *slicing*.

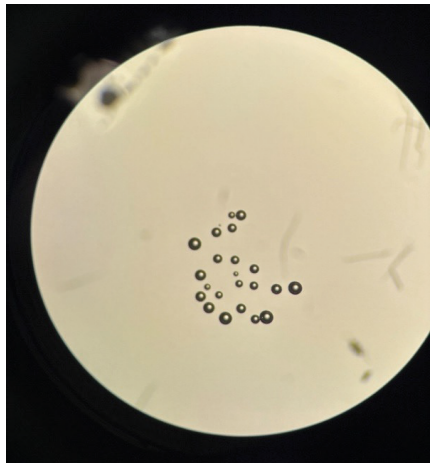


Figura 8. Visualización en microscopio de los ovocitos recuperados.

8.3. Grupos experimentales

A cada ovario de la misma gata se le aplicó una técnica distinta de obtención de ovocitos: en un ovario se utilizó el método de *slicing* y en el otro el de OPU. Esto permitió comparar los resultados sin que hubiera diferencias entre animales.

Una vez seleccionados los ovocitos de cada ovario, la mitad se procesó de forma inmediata para MIV (grupo control), mientras que la otra mitad se almacenó durante 18 horas a temperatura ambiente (grupo experimental). Se crearon un total de 4 grupos para el experimento, en función del método de recuperación y del tiempo de almacenamiento (Figura 9):

- *slicing* 0 horas (SLI 0h): ovocitos obtenidos por el método de *slicing* que se sometieron a MIV inmediatamente después de su recuperación.
- OPU 0 horas (OPU 0h): ovocitos obtenidos por el método de OPU que se sometieron a MIV inmediatamente después de su recuperación.
- *slicing* 18 horas (SLI 18h): ovocitos obtenidos por el método de *slicing* que estuvieron durante 18 horas en medio de mantenimiento a temperatura ambiente (18-24ºC), y posteriormente se sometieron a MIV.
- OPU 18 horas (OPU 18h): ovocitos obtenidos por el método de OPU que estuvieron durante 18 horas en medio de mantenimiento a temperatura ambiente (18-24ºC), y posteriormente se sometieron a MIV.

Los ovocitos del grupo experimental estuvieron 18 horas en medio de mantenimiento (EquiHold Minitube®) a temperatura ambiente. Se controló de forma continua durante las 18 horas de almacenamiento mediante el uso de un termómetro con sonda que tomó medidas de temperatura cada dos minutos. La temperatura fue de 20,41 ± 0,44ºC (media ± error estándar).

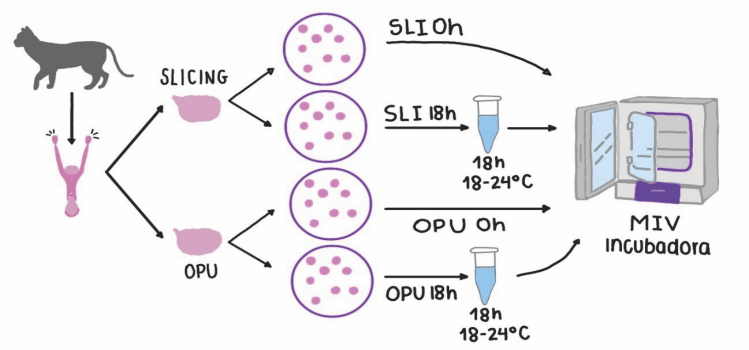


Figura 9. Esquema de los cuatro grupos (SLI 0h y 18h; OPU 0h y 18h) mantenidos en medio de conservación EquiHold® (Minitube) a temperatura ambiente.

8.4. Maduración in vitro

Para el proceso de maduración *in vitro* (MIV), se seleccionaron únicamente los ovocitos con complejos cúmulo ovocito de grado I y II, ovocitos con citoplasma oscuro homogéneo rodeado por al menos dos capas de células del cúmulo. Los ovocitos seleccionados se agruparon y se lavaron en gotas de medio de MIV elaborado en laboratorio, para eliminar restos de células adheridas. Finalmente, los ovocitos se depositaron en una placa NUNC de 4 pocillos con 500 μl de medio de MIV en grupos de hasta 50 ovocitos por pocillo.

Los ovocitos seleccionados de grado I y II (Figura 10) se sometieron a MIV durante 28 horas en medio de MIV a 38,5 °C, 20% O2 y 5% CO2, empleando una incubadora.

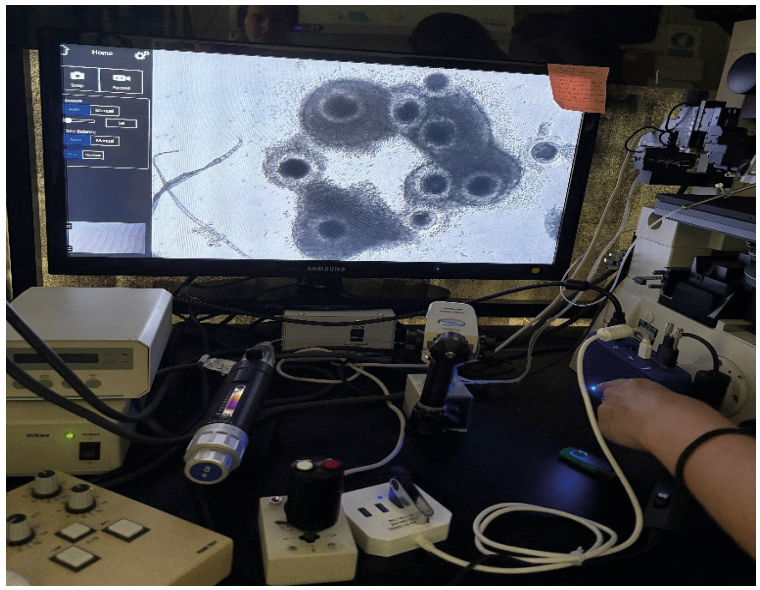


Figura 10. Visualización de ovocitos maduros en una pantalla conectada a un microscopio de fluorescencia.

8.5. Tinción de ovocitos

Tras la MIV, se eliminaron las células de cúmulo que rodean a los ovocitos (denudación) empleando una solución salina especifica (PBS), para permitir así la visualización del material genético del núcleo. Para ello, se introdujeron los ovocitos en un tubo Eppendorf con la solución mencionada y se agitó la muestra durante 3 minutos. Posteriormente, se vertió el contenido en una placa de Petri y se realizaron varios lavados del Eppendorf con el PBS para recuperar los ovocitos restantes. Una vez localizados

se procedió a su fijación. Para ello, se preparó una placa NUNC con paraformaldehído (PFA) en un pocillo y con PBS en otro. Los ovocitos se introdujeron en el PFA durante 20 minutos y luego se transfirieron al PBS durante 15 minutos para su limpieza (Figura 11).

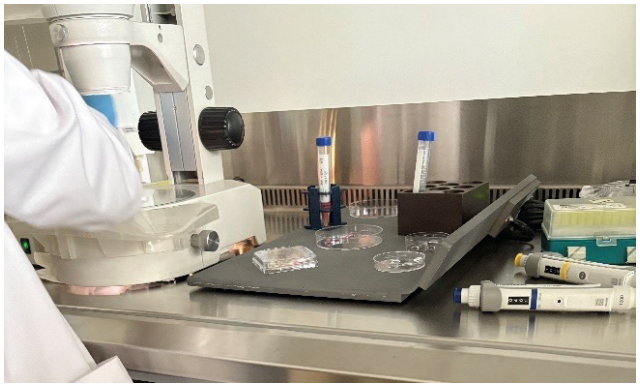


Figura 11. Proceso de fijación de los ovocitos en la placa NUNC.

Previamente se había preparado un portaobjetos (lámina de vidrio rectangular de color transparente utilizada para la observación de muestras en el microscopio) con 10 círculos rotulados por la cara trasera, para delimitar la zona en la que se depositarían los ovocitos, facilitando así su posterior visualización. Se depositaron 2-3 ovocitos por gota y, por último, se cubrió el portaobjetos con un cubreobjetos, se fijaron los bordes con esmalte de uñas y se mantuvo a 4ºC y protegido de la luz hasta su evaluación.

Los ovocitos fijados se observaron a 400x empleando el microscopio de fluorescencia, manteniendo condiciones de oscuridad (Figura 12).

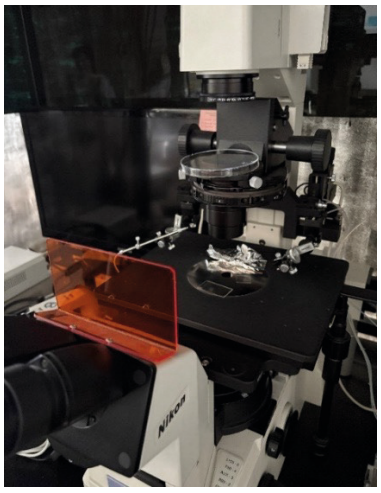


Figura 12. Microscopio de fluorescencia empleado para observar a 400x los ovocitos fijados

Se clasificaron en 5 categorías correspondientes a las distintas fases de maduración nuclear (Figura 13):

- Vesícula germinal (VG): el ovocito presenta una estructura grande y ovalada en su interior, que corresponde con la cromatina que comienza a condensarse.
- Metafase I (MI): el ADN del ovocito aparece parcialmente condensado, con los cromosomas alineados en un polo.
- Metafase II (MII): el material genético del ovocito está completamente condensado en forma de una esfera pequeña y compacta, localizado en la periferia del ovocito.
- Corpúsculo polar (CP): el ADN del ovocito se encuentra condensado y se observa otra esfera más pequeña y periférica bajo la zona pelúcida.
- Pronúcleo (PN): se observan dos o más núcleos, con forma esférica e intensamente fluorescente dentro del ovocito. Los ovocitos se consideraron maduros cuando se encontraron en fase de MII, CP o PN.

Además, se añadió una categoría (DEG) más para indicar aquellos ovocitos degenerados, no evaluables por alteraciones morfológicas.

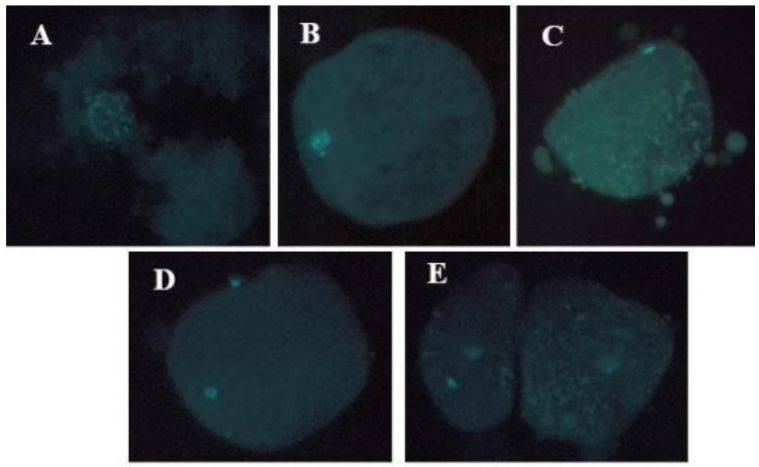


Figura 13. Visualización en microscopio de fluorescencia de las diferentes fases de maduración nuclear. A: Vesícula germinal. B: Metafase I. C: Metafase II. D: Corpúsculo polar. E: Pronúcleo
(Cortesía del Servicio de Reproducción Animal,
Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid).

El procedimiento completo, desde la obtención de los ovarios hasta la clasificación de los ovocitos, se representa de forma gráfica en la Figura 14.

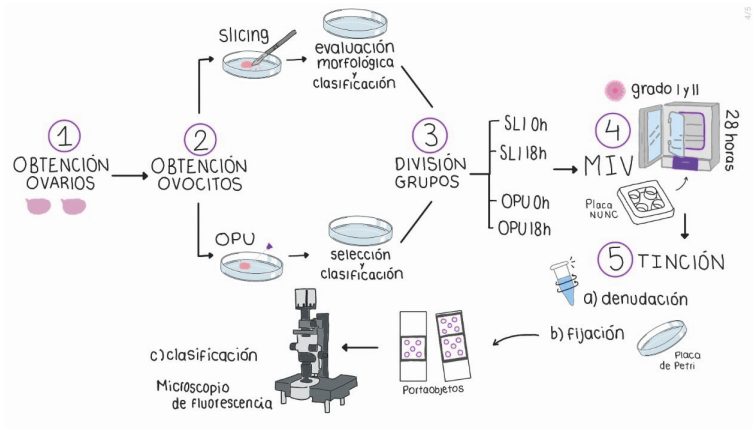


Figura 14. Esquema del procedimiento experimental completo. Los ovarios fueron procesados para la recuperación de ovocitos mediante *slicing* u *ovum pick-up* (OPU). Se seleccionaron los ovocitos de grado I y II y, tras la asignación a los cuatro grupos experimentales, se sometieron a maduración in vitro (MIV) durante 28 horas. Posteriormente, los ovocitos fueron denudados, fijados, montados en portaobjetos y clasificados mediante microscopio de fluorescencia.

8.6. Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó utilizando el software GraphPad Prism 9. En primer lugar, se evaluó la normalidad (que indica que la mayoría de los valores están cerca de la media y pocos se alejan notablemente) con el fin de confirmar el uso de pruebas paramétricas. Al tener una distribución normal y más de dos grupos para comparar, se realizó un análisis de varianza de una vía (one-way ANOVA). Esta prueba indica si existen diferencias significativas entre los grupos, pero no especifica entre cuáles. Por eso se realizó la prueba post hoc de Tukey, adecuada para comparaciones múltiples, que permite identificar directamente qué grupos experimentales difieren del control. Finalmente se estableció un nivel de significancia estadística en $p \leq 0{,}05$. Valores de p inferiores a 0,05 indican diferencias significativas, es decir, una probabilidad menor del 5% de que los resultados observados se deban al azar.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este trabajo constituye el primer análisis comparativo en gatos que evalúa cómo las condiciones de colecta y conservación influyen en su posterior maduración *in vitro* de ovocitos. Empleando el gato doméstico como modelo experimental, los hallazgos obtenidos ofrecen una base inicial para el desarrollo de protocolos que podrían ser ajustados en el futuro para su aplicación en especies en peligro de extinción (Pope, 2014).

En total, se trabajó con 24 ovarios felinos, cuyos ovocitos fueron recuperados mediante dos métodos distintos. De los 12 ovarios sometidos a la técnica de *slicing* se obtuvieron 358 ovocitos, de los que se seleccionaron 169 de grado I y II para su maduración *in vitro*. Tras el proceso de denudación, se fijaron 154 ovocitos.

Por otro lado, mediante la técnica de *ovum pick-up* (OPU) aplicada a los otros 12 ovarios, se puncionaron 268 folículos, recuperándose 156 ovocitos, de los cuales 102 fueron clasificados como grado I y II para su posterior MIV.

Los datos de los folículos puncionados y los ovocitos recuperados se muestran en la tabla 1.

Técnica empleada	Nº folículos puncionados	Nº ovocitos recuperados	% recuperación	Nº ovocitos seleccionados	% selección	Nº ovocitos fijados
SLI	------	358	-------	169	47,21	154
OPU	268	156	58,21	102	65,38	100
Total	268	514	-------	271	------	254

Tabla 1. Datos de los folículos puncionados mediante OPU y los ovocitos recuperados y fijados según ambas técnicas. El % de recuperación corresponde a (ovocitos recuperados / folículos puncionados) × 100, y el % de selección a (ovocitos seleccionados / ovocitos recuperados) × 100.

Se puede observar que el número de ovocitos recuperados es mayor en *slicing* (358 SLI vs 156 OPU), mientras que el porcentaje de ovocitos seleccionados es superior en OPU (65,38% OPU vs 47,21% SLI). Este fenómeno también se ha descrito en estudios realizados en bovino, en los que se compararon diferentes técnicas de recuperación (Hamano & Kuwayama, 1993). Esta diferencia puede deberse a que el método *slicing* consiste en cortar el tejido ovárico, lo que permite la obtención de ovocitos de folículos tanto grandes como pequeños. Esto implica que algunos ovocitos provienen de estructuras menos desarrolladas, por lo que es razonable pensar que ciertos ovocitos presenten menor competencia En cambio la OPU se centra sobre todo en la aspiración de folículos de mayor tamaño, que tienden a tener ovocitos que ya han completado gran parte de su desarrollo y presentan mayor competencia para la maduración (Reynaud et al., 2009). Además, la aspiración folicular permite preservar mejor la integridad del complejo cúmulo-ovocito, sin dañar la interacción entre el ovocito y las células del cúmulo. Esto es fundamental para una correcta maduración y fecundación, ya que los ovocitos sin cúmulo

pueden madurar *in vitro*, pero con una eficacia muy limitada (Sowińska et al., 2017).

A continuación, se detallan los resultados de los 271 ovocitos seleccionados. Tras la MIV, y después el proceso de denudación, 254 ovocitos se fijaron y se analizaron. Se clasificaron según su estadio de desarrollo tal y como se ha explicado anteriormente (VG, MI, MII, CP, PN y DEG). Los resultados obtenidos se expresan como porcentaje medio ± error estándar de ovocitos correspondientes a cada estadio de maduración (Gráfico 1 y Tabla 2).

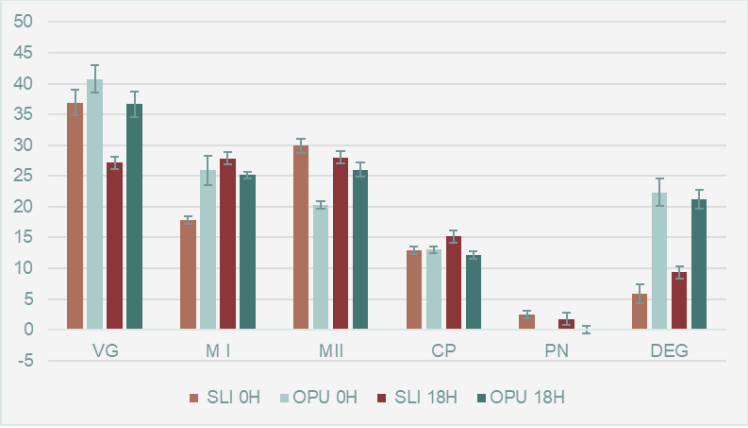


Gráfico 1. Estadio de desarrollo de los ovocitos según su grupo experimental (media ± error estándar).

	%VG	%MI	%MII	%CP	%PN	%DEG
SLI 0H	36,87 ± 2,08	17,85 ± 0,58	29,88 ± 1,15	12,91 ± 0,58	2,49 ± 0,58	5,80 ± 1,53
SLI 18H	27,17 ± 2,22	27,81 ± 1,29	28,03 ± 1,29	15,20 ± 0,96	1,79 ± 0,00	9,34 ± 1,71
OPU 0H	40,76 ± 2,16	25,94 ± 2,38	20,29 ± 0,58	13,01 ± 0,50	0,00 ± 0,00	22,29 ± 2,22
OPU 18H	36,68 ± 2,08	25,13 ± 0,58	26,02 ± 1,15	12,18 ± 0,58	0,00 ± 0,00	21,25 ± 1,53

Tabla 2. Porcentaje de vesículas germinales, ovocitos metafase I, II, corpúsculos polares, pronúcleos y ovocitos degenerados según su grupo experimental (media ± error estándar).

Con la técnica *slicing*, se puede observar que el porcentaje de ovocitos maduros (MII, CP y PN) es similar en SLI 0H y SLI 18H, al igual que tampoco hay diferencias notables en el porcentaje de ovocitos inmaduros (VG y MI). Por lo tanto, se deduce que el tiempo de almacenamiento no influye en la maduración de los ovocitos recuperados con la técnica *slicing*. Sin embargo, se observa un aumento del porcentaje de ovocitos degenerados tras el almacenamiento, al ser menor en SLI 0H (5,8%) que en SLI 18H (9,3%). Esta tendencia podría atribuirse al estrés oxidativo, ya que durante el almacenamiento los ovocitos se encuentran expuestos a condiciones subóptimas que favorecen su degeneración. El estrés oxidativo en los ovocitos se produce por un desequilibrio entre la capacidad antioxidante del organismo y sustancias como: radicales libres, peróxidos altamente reactivos y las especies reactivas de oxígeno (ROS), que son moléculas inestables y dañinas para las células formadas por iones de oxígeno. Este fenómeno puede provocar daños en el ADN, reducir la calidad del ovocito, afectar negativamente a las tasas de fecundación y, en consecuencia, disminuir la fertilidad. Los niveles de ROS tienden a incrementarse durante el almacenamiento, lo que puede desencadenar la peroxidación lipídica, un proceso en el cual los lípidos de las membranas celulares son atacados, alterando su estructura y funcionalidad (Piras et al., 2018).

Con la técnica OPU, el porcentaje de ovocitos maduros (MII, CP y PN) es similar en ambos tiempos. De la misma manera, no se destacan diferencias en los ovocitos inmaduros (VG y MI) y degenerados entre OPU OH y OPU 18H, lo que indica que el almacenamiento no les afecta.

En la tabla 3 se presentan los resultados finales por grupo experimental de los 254 ovocitos fijados. Se calculó la tasa de maduración dividiendo el número de ovocitos maduros entre el número total de ovocitos fijados menos los ovocitos degenerados. Es decir, se calcula considerando únicamente los ovocitos válidos (no degenerados) y determina qué proporción de ellos alcanzó la madurez.

	Nº fijados	Nº maduros	Nº inmaduros	Nº degenerados	% maduración
N SLI 0H	70	35	30	5	54,1
N SLI 18H	51	21	25	5	33,3
N OPU 0H	84	23	46	15	45,0
N OPU 18H	49	15	25	9	38,2

Tabla 3. Porcentaje de maduración y número total de ovocitos fijados, maduros, inmaduros y degenerados obtenidos tras la maduración in vitro según su grupo experimental.

El porcentaje de maduración más alto se obtuvo con la técnica *slicing* 0H, seguido de OPU 0H, mientras que los valores disminuyeron en ambas técnicas tras 18 horas de almacenamiento, siendo el porcentaje más bajo el de SLI 18H (Gráfico 2), tal y como se describió en la hipótesis inicial. Con respecto a la comparación entre ambas técnicas, no hay diferencias significativas en tiempo 0H (SLI 0H: 54,1 y OPU 0H: 45,0) indicando que los ovocitos cul-

tivados inmediatamente después de su recuperación por ambas técnicas obtienen porcentajes de maduración parecidos. Estos resultados, evidencian tasas de maduración *in vitro* comparables con las descritas en estudios previos (Colombo et al., 2021). Este comportamiento sugiere que ambos métodos son eficaces para la obtención de ovocitos viables, ya que no generan alteraciones significativas que comprometan su progreso meiótico. De acuerdo con estos hallazgos, investigaciones recientes, del mismo equipo de investigación de este trabajo, han demostrado que la técnica OPU aplicada en condiciones *in vivo* permite recuperar ovocitos con capacidad de desarrollo embrionario hasta etapas avanzadas, como el estadio de blastocisto, lo que refuerza su utilidad en el ámbito de las biotecnologías reproductivas en felinos (Priego-González et al., 2024).

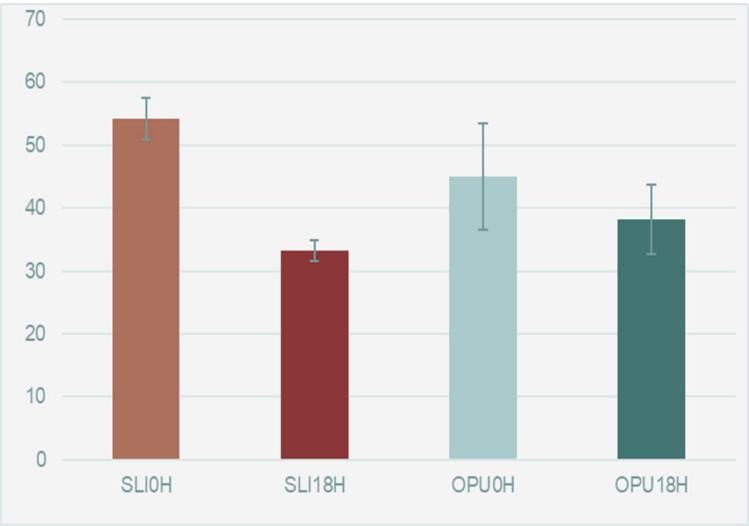


Gráfico 2. Tasas de maduración (%) ± error estándar en los distintos grupos a 0 y 18 horas. (*) indica p<0.05 y (**) indica p<0.01

Donde sí se aprecian diferencias significativas y con una p<0.01 es en el grupo SLI al comparar las tasas de maduración de los tiempos 0H y 18H (54,1 y 33,3 respectivamente).

Sin embargo, en el grupo OPU no hay diferencias destacables entre el momento 0H y tras el almacenamiento (45,0 vs 38,2, respectivamente).

Las diferencias significativas observadas entre los grupos correspondientes a SLI 0h y SLI 18h, en contraste con la ausencia de variaciones entre los grupos equivalentes de *ovum pick-up* (OPU 0h y OPU 18h), podrían explicarse por las particularidades inherentes al método de recuperación de los ovocitos. Dado que las demás condiciones experimentales se mantuvieron constantes, es razonable considerar que el procedimiento de extracción influye de manera diferencial en la viabilidad y competencia de los ovocitos durante el almacenamiento.

Por otro lado, sí se encuentran diferencias estadísticamente significativas (p<0.05) entre SLI 0H y OPU 18H (SLI 0H: 54,1 y OPU 18H: 38,2). Este hecho, junto a las diferencias encontradas entre SLI 0 h y SLI 18 h, pero no entre OPU 0 h y OPU 18 h, indica que el efecto del almacenamiento depende de la técnica de obtención. Como ya se ha explicado anteriormente, en el grupo *slicing*, los ovocitos son liberados del tejido ovárico mediante corte mecánico, lo que puede generar mayor estrés celular. Como consecuencia, estos ovocitos pueden ser más sensibles al almacenamiento. En cambio, en OPU, los ovocitos se recuperan directamente de folículos intactos mediante aspiración. Esta técnica preserva mejor las estructuras de soporte, el complejo cúmulo-ovocito y el entorno folicular, haciendo que los ovocitos toleren mejor el almacenamiento. Esto explica por qué OPU 0 h y OPU 18 h no presentan diferencias significativas, a diferencia de los grupos *slicing*. Por tanto, la selección folicular y el menor daño mecánico asociado a la OPU se plantean como posibles causas que expliquen estos resultados. En cambio, el medio de transporte (Equi-Hold Minitube®) empleado en el almacenamiento de los ovocitos no ha sido un factor limitante, como demuestran los resultados en OPU 18 h.

No obstante, se han identificado algunas **limitaciones** que dan lugar a ciertos **márgenes de error**. Una de ellas es que el estudio se ha centrado en evaluar la maduración *in vitro*, sin alcanzar la fecundación *in vitro* y la producción de embriones viables, objetivo final de las TRA. Por último, se ha empleado un solo medio de transporte y un único intervalo de temperatura, por lo que no se ha comparado con otros para poder evaluar su eficacia de manera más correcta.

Estos factores permiten plantear **futuras líneas de investigación**, como estudios que incluyan la producción *in vitro* de embriones para evaluar plenamente la viabilidad de los ovocitos tras el transporte y su aplicación en programas de cría en centros de conservación. Por otro lado, se podrían estudiar diferentes medios de transporte que contengan antioxidantes, y desarrollar un medio específico para el gato.

También sería interesante estudiar cómo influyen en los ovocitos felinos las temperaturas intermedias (10-15ºC) con el fin de reducir el metabolismo del ovocito sin inducir los daños de la temperatura de refrigeración. En otras especies se han evaluado diferentes métodos para el transporte de ovocitos. En bovino, los ovocitos no toleran bien el mantenimiento a temperatura ambiente, por lo que se ha desarrollado una estrategia en la que la maduración ocurre durante el transporte (Campos-Chillon et al., 2019). Aunque este enfoque no se ha probado en felinos, podría representar una alternativa prometedora para futuras investigaciones. Sin embargo, en equino, es habitual trasladar ovocitos inmaduros en medio de mantenimiento, y se ha demostrado que el transporte a temperatura ambiente ofrece mejores tasas de maduración y desarrollo que la refrigeración, posiblemente por daños celulares asociados a las bajas temperaturas (Diaw et al., 2018). Estas variaciones sugieren que las condiciones del transporte de ovocitos dependen de la especie.

En conclusión, las técnicas de OPU (aspiración folicular) y *slicing* mostraron una eficacia similar para la maduración de ovocitos. Además, el traslado de ovocitos en un medio de mantenimiento a temperatura ambiente se presenta como una opción válida cuando es necesario transportarlos antes de la maduración, especialmente para los ovocitos obtenidos por OPU, que mantienen su competencia durante este tiempo. Esto convierte este protocolo en una herramienta prometedora para su integración en programas de conservación y en procedimientos de producción in vitro de embriones en felinos salvajes, sobre todo cuando los animales se encuentran lejos de centros especializados.

10. CONCLUSIONES

1. Tanto el método de *slicing* como el *ovum pick-up* (OPU) resultaron ser técnicas igualmente válidas para obtener tasas similares de maduración *in vitro* en el gato doméstico.
2. En los ovocitos obtenidos por *slicing*, el almacenamiento durante 18 horas a temperatura ambiente redujo la tasa de maduración respecto al grupo evaluado a las 0 h.
3. En los ovocitos obtenidos por OPU, el periodo de almacenamiento no produjo un efecto negativo sobre la maduración respecto a los valores del grupo 0 h.
4. El medio de mantenimiento comercial (EquiHold Minitube®) ha mostrado ser eficaz y los resultados obtenidos sirven como base para futuros estudios orientados al desarrollo y optimización de protocolos de transporte y conservación de ovocitos felinos.

11. GLOSARIO

Andrógenos: grupo de hormonas esteroides presentes en ambos sexos que desarrollan y mantienen las características sexuales masculinas.

Atresia folicular: proceso de degeneración y reabsorción de los folículos ováricos antes de llegar a la madurez.

Blastocisto: embrión en una etapa avanzada de desarrollo (alrededor del quinto o sexto día después de la fecundación), caracterizado por una estructura celular compleja y con una cavidad interna.

Células de la granulosa: conjunto de células que rodea al ovocito dentro del folículo ovárico.

Complejo cúmulo-ovocito: estructura formada por el ovocito y las células de la granulosa que lo rodean estrechamente, proporcionándole soporte nutricional y regulando su crecimiento y maduración.

Corpúsculo polar: estructuras celulares pequeñas que degeneran rápidamente y son resultantes de la meiosis, ubicadas entre el ovocito y la zona pelúcida.

Corona radiata: estructura de células pequeñas que rodea a un ovocito secundario y posteriormente al óvulo.

Criopreservación: proceso en el que las células o tejidos son congelados a muy bajas temperaturas para disminuir sus funciones vitales y conservarlos indefinidamente.

Cromatina: estructura condensada compuesta por ADN, ARN y proteínas que forma los cromosomas en el núcleo celular.

Cubreobjetos: Lámina delgada transparente, generalmente de cristal, que se coloca sobre una muestra para protegerla y facilitar su observación.

Cultivo *in vitro*: proceso mediante el cual se procede al crecimiento y maduración de células fuera del organismo.

Denudación: proceso químico mediante el cual se eliminan las células de cúmulo que rodean a los ovocitos para permitir la visualización el material genético del núcleo.

Eppendorf: pequeño contenedor cilíndrico de plástico con fondo cónico y tapa unida al cuerpo del tubo.

Estroma: tejido conjuntivo y células que rodean los ovocitos y dan estructura al ovario.

Ex vivo: experimento realizado en células o tejidos vivos ubicados fuera del organismo originario.

Feromona: sustancia emitida por un animal que genera efectos específicos en otros individuos de la misma especie, que actúa en la atracción sexual o en el marcaje territorial.

Fertilización *in vitro* (FIV): técnica de reproducción asistida que consiste en fecundar un óvulo con un espermatozoide en un laboratorio.

Gonadotropina: grupo de hormonas (FSH y LH) producidas por la hipófisis que estimulan el desarrollo folicular y la ovulación.

Hormona foliculoestimulante (FSH): hormona producida por la glándula pituitaria que estimula el crecimiento de los folículos ováricos.

Hormona luteinizante (LH): hormona producida por la hipófisis que regula la ovulación y la formación del cuerpo lúteo.

In vivo: proceso o fenómeno que ocurre dentro de un organismo vivo.

***Ovum Pick Up* o OPU:** técnica de recolección de ovocitos mediante la punción ecoguiada de los folículos usando una bomba de aspiración.

Placa de Petri: recipiente redondo de vidrio con tapa no hermética utilizado habitualmente en laboratorios.

Placa NUNC: Placa o recipiente que contiene cavidades que pueden alojar distintas sustancias.

Progesterona: hormona esteroide involucrada en el ciclo menstrual, gestación y embriogénesis.

Pseudogestación: condición fisiológica en hembras no preñadas que presentan signos similares a un embarazo por altas concentraciones de progesterona.

Slicing: técnica de obtención de ovocitos mediante múltiples incisiones en el tejido ovárico para liberar ovocitos en distintas fases de desarrollo.

Teca: capa de células que envuelve el folículo.

Transferencia de embriones: técnica de reproducción asistida en la que se trasladan embriones de una hembra donante al útero de una receptora.

Vitrificación: método específico de criopreservación que permite proteger a las estructuras vivas de los efectos nocivos de la formación de cristales de hielo, permitiendo su mejor conservación.

Zona pelúcida: capa extracelular amorfa que rodea a los ovocitos primario y secundario y contribuye a la fecundación.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banks, D. H., & Stabenfeldt, G. (1982). Luteinizing hormone release in the cat in response to coitus on consecutive days of estrus. *Biology of Reproduction, 26*(4), 603. https://doi.org/10.1095/biolreprod26.4.603
- Brągiel, N., Perrin, J., Młodawska, W., Niżański, W., Podhorska-Okołów, M., Haczkiewicz-Leśniak, K., Kulus, M., & Ochota, M. (2025). Age-related changes in the cytoplasmic ultrastructure of feline oocytes. *Scientific Reports, 15*, 12668. https://doi.org/10.1038/s41598-025-96983-8
- Campos-Chillon, L. F., Owen, C. M., & Altermatt, J. L. (2019). Equine and bovine oocyte maturation in a novel medium without CO_2 gas phase. *Journal of Equine Veterinary Science, 73*, 51–55. https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.11.010
- Chazotte, B. (2011). Labeling nuclear DNA with Hoechst 33342. *Cold Spring Harbor Protocols, 2011*(1), pdb.prot5557. https://doi.org/10.1101/pdb.prot5557
- Colombo, M., Zahmel, J., Binder, C., Herbel, J., Luvoni, G. C., & Jewgenow, K. (2021). Ovary cold storage and shipment affect oocyte yield and cleavage rate of cat immature vitrified oocytes. *Cryobiology, 98*, 181-186. https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2020.11.003
- Comizzoli, P., Wildt, D. E., & Pukazhenthi, B. S. (2004). Effect of 1,2-propanediol versus 1,2-ethanediol on subsequent oocyte maturation, spindle integrity, fertilization, and embryo development in vitro in the domestic cat. *Biology of Reproduction, 71*(2), 598-604. https://doi.org/10.1095/biolreprod.104.027920
- Diaw, M., Salgado, R. M., Canesin, H. S., Gridley, N., & Hinrichs, K. (2018). Effect of different shipping temperatures (~22 °C vs. ~7 °C) and holding media on blastocyst development after overnight holding of immature equine cumulus-oocyte complexes. Theriogenology, 111, 62–68. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.12.044

- Gonçalves, R. J. S., Cavalcante, A. Y. P., Gouveia, B. B., Lins, T. L. B., Barberino, R. S., Menezes, V. G., Barros, V. R. P., Macedo, T. J. S., Figueiredo, J. R., & Matos, M. H. T. (2015). Lower apoptosis rate in ovine preantral follicles from ovaries stored in supplemented preservation media. *Zygote (Cambridge, England), 23*(6), 943-950. https://doi.org/10.1017/S0967199414000665
- Gudermuth, D. F., Newton, L., Daels, P., & Concannon, P. (1997). Incidence of spontaneous ovulation in young, group-housed cats based on serum and faecal concentrations of progesterone. *Journal of Reproduction and Fertility. Supplement, 51*, 177-184.
- Hamano, S., & Kuwayama, M. (1993). In vitro fertilization and development of bovine oocytes recovered from the ovaries of individual donors: A comparison between the cutting and aspiration method. *Theriogenology, 39*(3), 703-712. https://doi.org/10.1016/0093-691x(93)90255-4
- Huijsmans, T. E. R. G., Hassan, H. A., Smits, K., & Van Soom, A. (2023). Postmortem Collection of Gametes for the Conservation of Endangered Mammals: A Review of the Current State-of-the-Art. *Animals: An Open Access Journal from MDPI, 13*(8), 1360. https://doi.org/10.3390/ani13081360
- Johnson, A. K. (2022). Normal feline reproduction: The queen. *Journal of Feline Medicine and Surgery, 24*(3), 205-208. https://doi.org/10.1177/1098612X221079706
- Kim, C. I., Ellington, J. E., & Foote, R. H. (1990). Maturation, fertilization and development of bovine oocytes in vitro using TCM199 and a simple defined medium with co-culture. *Theriogenology, 33*(2), 433-440. https://doi.org/10.1016/0093-691X(90)90501-J
- Kochan, J., Niżański, W., Moreira, N., Cubas, Z. S., Nowak, A., Prochowska, S., Partyka, A., Młodawska, W., & Skotnicki, J. (2019). ARTs in Wild Felid Conservation Programmes in Poland and in the World. *Journal of Veterinary Research, 63*(3), 457-464. https://doi.org/10.2478/jvetres-2019-0043
- König, H. E., & Liebich, H.-G. (2005). Anatomía de los animales domésticos: Órganos, sistema circulatorio y sistema nervioso. Editorial Médica Panamericana, 142-145.
- Kutzler, M. A. (2022). Reproductive Anatomy and Puberty in the Queen. En *Feline Reproduction*. Editorial CABI, 1-4. https://doi.org/10.1079/9781789247107.0001
- Lucci, C. M., Kacinskis, M. A., Rumpf, R., & Báo, S. N. (2004). Effects of lowered temperatures and media on short-term preservation of zebu (Bos indicus) preantral ovarian follicles. *Theriogenology, 61*(2-3), 461-472. https://doi.org/10.1016/s0093-691x(03)00226-7
- Luu, V. V., Hanatate, K., Tanihara, F., Sato, Y., Do, L. T. K., Taniguchi, M., & Otoi, T. (2013). The effect of relaxin supplementation of *in vitro* maturation medium on the development of cat oocytes obtained from ovaries stored at 4 C. *Reproductive Biology, 13*(2), 122-126. https://doi.org/10.1016/j.repbio.2013.04.002
- Malandain, E., Rault, D., Froment, E., Baudon, S., Desquilbet, L., Begon, D., & Chastant-Maillard, S. (2011). Follicular growth monitoring in the female cat during estrus. *Theriogenology, 76*(7), 1337-1346. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.06.002
- Maldonado Villamizar, J., & Aquino Guerra, A. (2016). Experimentación con biomodelos animales en ciencias de la salud. *Avances en Biomedicina, 5*(3), 173–177.
- Mehl, N. S., Khalid, M., Srisuwatanasagul, S., Swangchan-Uthai, T., & Sirivaidyapong, S. (2017). Comparison of the ovarian and uterine reproductive parameters, and the ovarian mRNA and protein expression of LHR and FSHR between the prepubertal and adult female cats. *Reproduction in Domestic Animals , 52* Suppl. 2, 41-44. https://doi.org/10.1111/rda.12926
- Menéndez Brito, I., Lorenzo García, Y., & Barzaga Fernández, L. (2019). La reproducción de la gata doméstica. *Revista Ciencia Universitaria, 17*(1). https://revistas.unah.edu.cu/index.php/cu/article/view/1147
- Muñoz-Maceda, A., Priego-González, A., Núñez-Puente, C., Rizos, D., Cerdeira-Lozano, J., Sánchez-Rodríguez, A., Roldán, E. R. S., & Sánchez-Calabuig, M. J. (2024). Enhancing felid conservation: Exploring the impact of in vitro culture media on domestic cat blastocyst production. *Reproduction in Domestic Animals, 59*(Suppl. 3), e14645. https://doi.org/10.1111/rda.14645
- Ochota, M., Kulus, M. J., Młodawska, W., Kardasz-Kamocka, M., Haczkiewicz-Leśniak, K., Podchorska-Okołów, M., & Niżański, W. (2023). Ultrastructural changes in feline oocytes during ovary storage for 24- and 48-hours. *Theriogenology, 197*, 101-110. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.11.025
- Paris, M. C. J., Snow, M., Cox, S.-L., & Shaw, J. M. (2004). Xenotransplantation: A tool for reproductive biology and animal conservation? *Theriogenology, 61*(2-3), 277-291. https://doi.org/10.1016/s0093-691x(03)00234-6
- Piras, A. R., Burrai, G. P., Ariu, F., Falchi, L., Zedda, M. T., Pau, S., Gadau, S. D., Antuofermo, E., Bebbere, D., Ledda, S., & Bogliolo, L. (2018). Structure of preantral follicles, oxidative status and developmental competence of in vitro matured oocytes after ovary storage at 4 C in the domestic cat model. *Reproductive Biology and Endocrinology, 16*(1), 76. https://doi.org/10.1186/s12958-018-0395-1

- Pope, C. E. (2000). Embryo technology in conservation efforts for endangered felids. *Theriogenology, 53*(1), 163-174. https://doi.org/10.1016/s0093-691x(99)00249-6
- Pope, C. E., Gómez, M. C., & Dresser, B. L. (2006). In vitro production and transfer of cat embryos in the 21st century. *Theriogenology, 66*(1), 59-71. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.03.014
- Pope, C. E. (2014). Aspects of in vivo oocyte production, blastocyst development, and embryo transfer in the cat. *Theriogenology, 81*(1), 126–137. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.09.006
- Priego-González, A., Muñoz-Maceda, A., Cerdeira-Lozano, J., Fominaya, H., Fuertes-Recuero, M., Ortiz-Díez, G., & Sánchez-Calabuig, M. A. (2024). Successful ultrasound-guided ovum pick-up (OPU) and subsequent in vitro embryo production in a domestic cat. *Theriogenology, 229*, 47–52. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2024.08.017
- Reynaud, K., Gicquel, C., Thoumire, S., Chebrout, M., Ficheux, C., Bestandji, M., & Chastant-Maillard, S. (2009). Folliculogenesis and morphometry of oocyte and follicle growth in the feline ovary. *Reproduction in Domestic Animals, 44*(2), 174–179. https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.01012.x
- Rojo, J. L., Linari, M., Musse, M. P., & Peluffo, M. C. (2015). Felis catus ovary as a model to study follicle biology in vitro. J*ournal of Assisted Reproduction and Genetics, 32*(7), 1105-1111. https://doi.org/10.1007/s10815-015-0511-5
- Sanchez, A. E., & Silva, M. E. (2002). Biology of pregnancy in the domestic cat (Felis catus). *Archivos de medicina veterinaria, 34*(2), 147-156. https://doi.org/10.4067/S0301-732X2002000200001
- Sowińska, N. (2021). [The domestic cat as a research model in the assisted reproduction procedures of wild felids]. *Postepy Biochemii, 67*(4), 362-369. https://doi.org/10.18388/pb.2021_416
- Sowińska, N., Frankowska, K., Filipczyk, A., Adamaszek, A., Nalik, K., Fic, K., & Pietsch-Fulbiszewska, A. (2017). The effect of cumulus cells on domestic cat (Felis catus) oocytes during in vitro maturation and fertilization. *Reproduction in Domestic Animals, 52* Suppl. 2, 108-113. https://doi.org/10.1111/rda.12895
- Swanson, W. F. (2023). The challenge of assisted reproduction for conservation of wild felids—A reality check. *Theriogenology, 197*, 133-138. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.11.018
- The IUCN Red List of Threatened Species. (s.f.). *The IUCN Red List of Threatened Specie*s. Recuperado el 28 de junio de 2025, de https://www.iucnredlist.org
- Uchikura, K., Nagano, M., & Hishinuma, M. (2011). The Effect of Ovarian Status and Follicular Diameter on Maturational Ability of Domestic Cat Oocytes. *Journal of Veterinary Medical Science, 73*(5), 561-566. https://doi.org/10.1292/jvms.10-0381
- Vilela, J. de M. V., Dolmans, M.-M., & Amorim, C. A. (2021). Ovarian tissue transportation: A systematic review. *Reproductive BioMedicine Online, 42*(2), 351-365. https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2020.11.001
- Wood, T. C., & Wildt, D. E. (1997). Effect of the quality of the cumulus-oocyte complex in the domestic cat on the ability of oocytes to mature, fertilize and develop into blastocysts in vitro. *Journal of Reproduction and Fertility, 110*(3), 355–360. https://doi.org/10.1530/jrf.0.1100355
- Wolfe, B. A., & Wildt, D. E. (1996). Development to blastocysts of domestic cat oocytes matured and fertilized in vitro after prolonged cold storage. *Journal of Reproduction and Fertility, 106*(1), 135-141. https://doi.org/10.1530/jrf.0.1060135
- Zahmel, J., Fernandez-Gonzalez, L., Jewgenow, K., & Müller, K. (2019). Felid-gamete-rescue within EAZA - efforts and results in biobanking felid oocytes and sperm. *Journal of Zoo and Aquarium Research, 7*(1), Article 1. https://doi.org/10.19227/jzar.v7i1.369
- Zambelli, D., & Cunto, M. (2022). Artificial insemination in queens in the clinical practice setting:Protocols and challenges. *Journal of Feline Medicine and Surgery, 24*(9), 871-880. https://doi.org/10.1177/1098612X221118756

ENTRE TRAMPAS Y HOJAS:

ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO CONDICIONADO DE LA PLANTA JARRA PÚRPURA Y ESTUDIO DE SUS RELACIONES SIMBIÓTICAS

Jorge Caballero Cáceres

Tutora: Amaya Matos Yarza

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría comenzar estos agradecimientos dándole las gracias a mi tutora y profesora de Biología, Amaya, a quién tengo un cariño enorme. Gracias por todo tu apoyo y guía en este proyecto, por acompañarme en todo momento y ser una figura de inspiración, no solo en este trabajo de investigación, sino en toda mi trayectoria en el IES Guadarrama. Este proyecto no hubiese sido posible sin ti.

Me gustaría agradecer también a Antonio, mi profesor de Química, que ha estado presente en todo lo relacionado al cultivo bacteriano. Muchas gracias por tu ayuda y tu querido Campingaz, que tanto mundo ha visto.

No puedo continuar estos agradecimientos sin dirigirme a mis amigos más cercanos, Andy, Claudia, Chirinos, Leire y Emma. Muchas gracias por aguantar mis monólogos interminables sobre plantas sin echaros a dormir inmediatamente. Me gustaría agradecer especialmente a Andy y Claudia por su compañía y apoyo constante, y a Chirinos, no sólo por su apoyo, sino por su ayuda en el proceso de trasplante de las plantas en la segunda fase experimental. Me gustaría, además, darle las gracias a Julián, el padre de Claudia, por sus consejos para el análisis estadístico.

No podría olvidarme de mi compañera de clase y amiga, Emily, y su madre, Merche, que tan amablemente decidió prestarme el sistema de los iButtons. La base de este proyecto ha sido posible gracias a vosotras. Gracias de corazón.

Mi familia ha tenido que aguantarme en momentos de euforia, angustia y enfado, cosa que no desearía a mi peor enemigo. Muchas gracias por tener la paciencia que habéis tenido conmigo. Me gustaría agradecer sobre todo a mi hermano mayor, Rubén, que siempre encuentra la forma de hacer que me olvide del proyecto y desconecte del estrés que conlleva.

Por último, me gustaría dar las gracias al departamento de Biología y a todos sus miembros por dejarme usar el laboratorio y todo el material disponible para todos los experimentos necesarios. El laboratorio ha llegado a ser un segundo hogar para mí este último año. Gracias por vuestro apoyo.

ÍNDICE

1) Resumen……80
2) Abstract……80
3) Introducción……80
4) Justificación del proyecto……81
5) Hipótesis……81
6) Objetivos ……81
7) Marco teórico……82
7.1) Seres vivos: *reino Plantae*……82
7.2) Modelo de nutrición autótrofa y procesos metabólicos relacionados……83
7.3) Plantas carnívoras……85
7.3.1) Definición. Criterios de consideración carnívora……85
7.3.2) Fundamentos del desarrollo de comportamientos carnívoros en organismos vegetales……85
7.3.3) Trampas y métodos de atracción……86
7.4) Objeto de estudio: Planta jarra morada *(Sarracenia purpurea)*……87
7.4.1) Distribución geográfica y fundamentos nutricionales de la misma……87
8) Metodología……89
8.1) Experimentación preliminar: cuidados básicos de *Sarracenia purpurea sub. purpurea*……89
8.2) Experimentación principal: variación de los parámetros ambientales y medición de la concentración bacteriana……91
9) Recogida y análisis de datos……96
9.1) Análisis estadístico: verificación de la hipótesis principal……96
9.2) Análisis estadístico: verificación de la hipótesis secundaria……98
9.3) Variables fijas: Seguimiento de la temperatura y humedad ambiental……98
10) Conclusiones del análisis……99
11) Dificultades……99
12) Próximas líneas de investigación……100
13) Glosario: definiciones de términos presentes en el marco teórico……100
14) Bibliografía/Webgrafía……101
15) Anexos y códigos QR……102

1) RESUMEN

La botánica es una disciplina con una baja popularidad entre el alumnado de secundaria, que a menudo se subestima por su estudio sobre organismos sésiles. No obstante, existen casos particulares de gran interés científico, como es *Sarracenia purpurea*, conocida como la planta jarra púrpura, un organismo vegetal insectívoro con digestión exclusivamente simbiótica.

El principal objetivo de este proyecto fue determinar la influencia de diferentes tipos de artrópodos sobre el crecimiento de una pequeña población de *Sarracenia purpurea* y la concentración bacteriana dentro de sus hojas modificadas.

La experimentación fue dividida en una fase preliminar, utilizada para establecer los cuidados básicos de las plantas, y una fase principal, en la que se añadieron diferentes tipos de insectos a las plantas con el objetivo de verificar la hipótesis principal. También se realizaron cultivos bacterianos con el fin de aislar las bacterias simbióticas de la planta jarra.

El tratamiento estadístico, llevado a cabo con la prueba H de Kruskal-Wallis, reveló la ausencia de relación entre el tipo de insecto y la síntesis de nuevas trampas. No obstante, se observó una ligera tendencia a un mayor crecimiento en aquellos especímenes 'alimentados' con insectos.

Por otro lado, los cultivos bacterianos no arrojaron ninguna conclusión acerca de la relación entre los artrópodos y la concentración bacteriana, al haber proliferado exclusivamente las bacterias ambientales y no los organismos simbióticos presentes en los sujetos de estudio.

Palabras clave: planta carnívora, simbiosis, digestión, crecimiento, colonia bacteriana.

2) ABSTRACT

Botany is a discipline that is not very popular among secondary school students, which is often underestimated because of its studies on sessile organisms. However, there are particular cases of great scientific interest, such as *Sarracenia purpurea*, known as the purple pitcher plant, an insectivorous plant with exclusively symbiotic digestion.

The main objective of this project was to determine the influence of different types of arthropods on the growth of a small population of *Sarracenia purpurea* and the bacterial concentration within its modified leaves.

The experiment was divided into a preliminary phase, used to establish basic plant care, and a main phase, in which different types of insects were added to the plants in order to verify the main hypothesis. Bacterial cultures were also carried out in order to isolate the symbiotic bacteria from the pitcher plant.

Statistical analysis, carried out using the Kruskal-Wallis H test, revealed no relationship between the type of insect and the synthesis of new traps. However, a slight tendency towards greater growth was observed in those specimens "fed" with insects.

On the other hand, the bacterial cultures did not yield any conclusions about the relationship between arthropods and bacterial concentration, as only environmental bacteria proliferated and not symbiotic organisms.

Keywords: carnivorous plant, symbiosis, digestion, growth, bacterial colony.

3) INTRODUCCIÓN

El término "carnivoría" suele verse relacionado en su mayoría de usos a organismos exclusivamente heterótrofos, como son aquellos comprendidos dentro de los reinos Fungi, Animalia y el sector protozoario del reino Protoctista.

No obstante, las plantas carnívoras (también llamadas plantas insectívoras), como su nombre indica, también poseen cierta facultad heterótrofa, derivada de la reducida efectividad del proceso fotosintético en dichos organismos. En este proyecto se busca comprobar los efectos de las variaciones ambientales en el crecimiento vegetal, siendo el principal parámetro a tener en cuenta el tipo de artrópodo proporcionado a la planta durante el desarrollo de la experimentación.

De igual manera, el sujeto de estudio, la planta jarra púrpura *(Sarracenia purpurea)*, posee una relación fundamentalmente simbiótica con diversos organismos de los reinos Moneras y Fungi, siendo estos los principales responsables del proceso digestivo en las trampas de esta planta (Koller-Peroutka et al., 2019). Esta relación simbiótica es exclusiva de las especies *Sarracenia purpurea* (en sus dos subespecies: *purpurea* y *venosa*) y *Sarracenia rosea* (Koller-Peroutka et al., 2019).

4) JUSTIFICACIÓN

Todo lo relacionado al ámbito biológico ha formado parte del eje central de mis pasiones desde que tengo uso de razón, ya sea en forma de una extraña obsesión por los dinosaurios en mi infancia, o, como en la actualidad, un gran interés en la forma en que el mundo que nos rodea funciona, desde todos los puntos de vista posibles. Este mismo interés me ha llevado a mi decisión de entrar en el Bachillerato de Excelencia, y a la realización de este mismo proyecto.

Asimismo, la decisión de investigar el crecimiento de las plantas jarra se debe a un recientemente descubierto interés por el mundo de la Botánica, un ámbito que, generalmente, está relegado a un segundo plano en la enseñanza de la asignatura de Biología durante la Educación Secundaria Obligatoria. Dichas plantas llamaron mi atención por su inusual modo de vida, ya que rompen con el molde vegetal clásico: organismos eucariotas, formados por células vegetales y, como aspecto diferencial con las plantas carnívoras, con un modelo de nutrición estrictamente autótrofo, fundamentado en la síntesis química basada en la luz solar.

Las plantas carnívoras, además, resultan infinitamente más interesantes no sólo por su modelo de nutrición, sino por los rasgos evolutivos característicos de cada una de las especies contenidas dentro de este grupo.

Estas adaptaciones se observan como consecuencia de la adaptación a sustratos más ácidos, presentes en latitudes más altas (Ellison et al., 2002).

El motivo principal de esta investigación recae, además de un importante interés personal, en la poca relevancia que se le suele atribuir a un campo tan crucial como es la Botánica. Este proyecto busca ser una forma accesible y amena de comprobar, de primera mano, el crecimiento de la planta jarra, como una forma de normalizar el estudio botánico sobre otras áreas biológicas por las que normalmente se profesa un mayor interés en el ámbito educativo, como son la zoología o la ecología.

5) HIPÓTESIS

Este proyecto se focalizó en torno a dos hipótesis, una principal y otra con carácter secundario:

- **Hipótesis principal:** 'El factor más relevante en la síntesis de nuevas trampas y su crecimiento es la captura de artrópodos y el tipo de los mismos'.
- **Hipótesis secundaria:** 'La concentración de bacterias en el fluido digestivo de las trampas depende del tipo de artrópodo atrapado en estas'.

6) OBJETIVOS

Asimismo, los objetivos también se clasificaron en objetivos primarios y secundarios, a condición de la relevancia de los mismos para el desarrollo de la investigación:

1. Objetivos primarios:

- Monitorear el crecimiento de los especímenes de *Sarracenia purpurea*.
- Relacionar la síntesis de nuevas trampas y filodios con los artrópodos proporcionados.
- Observar la síntesis de nuevas trampas dentro de los especímenes de *Sarracenia purpurea*.
- Medir los cambios en la concentración de las colonias bacterianas localizadas en el jugo digestivo de *Sarracenia purpurea*.

2. Objetivos secundarios:

- Elaborar unos calendarios de riego adecuados a las condiciones climatológicas durante la investigación.
- Medir los niveles de humedad y temperatura, con el fin de brindar las condiciones más óptimas posibles para la investigación.
- Elaborar estadísticas relacionadas con los parámetros de temperatura y humedad.
- Implementar el uso de iButtons para un seguimiento eficaz de las variables fijas.
- Determinar el espesante adecuado para la preparación del caldo de cultivo bacteriano.

7) MARCO TEÓRICO

7.1 Seres vivos: Reino Plantae

El reino Plantae incluye a organismos de tipo celular eucariota, con células vegetales y de nutrición fundamentalmente autótrofa (con la excepción de las plantas jarra estudiadas a lo largo de este proyecto y otras especies que constituyen el grupo de las plantas carnívoras).

Este reino incluye una gran variedad de organismos con una gran variedad morfológica, desde vegetales simples, como las plantas briófitas, hasta aquellos más complejos (con sistemas vasculares), como las plantas pteridofitas, gimnospermas y angiospermas.

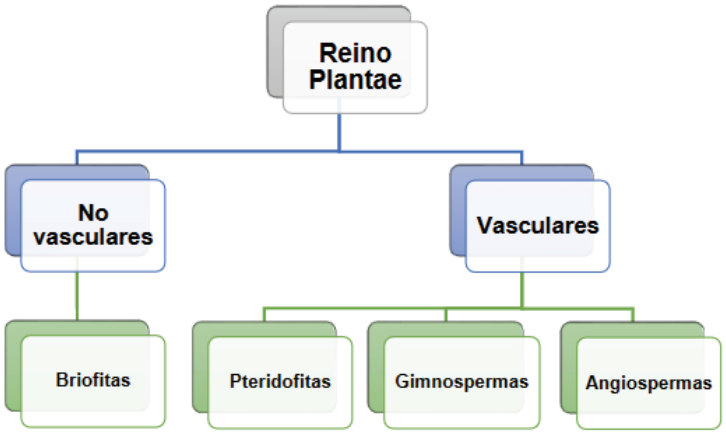


Figura 1: Organización del Reino Plantae
Fuente: Pérez-Atilano , Y. et al. (2023)

El principal criterio de clasificación en el reino Plantae es la existencia de vasos conductores (Pérez-Atilano et al., 2023). Dichos vasos leñosos se dividen en dos tipos, xilema y floema, cuya principal diferencia radica en el estado de sus células y su grado de lignificación.

Sin embargo, incluso teniendo en cuenta las diferencias en cuanto a estructuras vasculares, todos los organismos vegetales comparten unas características básicas. Todo organismo vegetal está compuesto por células eucariotas, que son células nucleadas y de complejidad mayor que aquellas de tipo procariota. Asimismo, todos ellos poseen un modelo de nutrición autótrofa o semi-autótrofa.

Uno de los aspectos diferenciales en este tipo de células es la existencia de una pared celular externa, compuesta en su mayor parte por celulosa, diferentes tipos de glúcidos complejos y glucoproteínas (Keegstra, 2010), que dan forma a la célula y permiten mantener una mayor rigidez estructural.

Existen dos tipos fundamentales de paredes celulares, en función del rol que cumplan dentro del organismo vegetal. El primer tipo está compuesto por aquellas que rodean a células con capacidad de división activa, como son las que componen el tejido meristemático. El otro tipo de paredes celulares, por otro lado, comprende aquellas que contienen una mayor proporción de biopolímeros como la lignina, que aumentan la rigidez del tejido en el que se encuentren (Keegstra, 2010).

Además de la existencia de una pared celular, algunos orgánulos, como los cloroplastos, son exclusivos de organismos fotosintéticos, como son aquellos comprendidos en el reino Plantae.

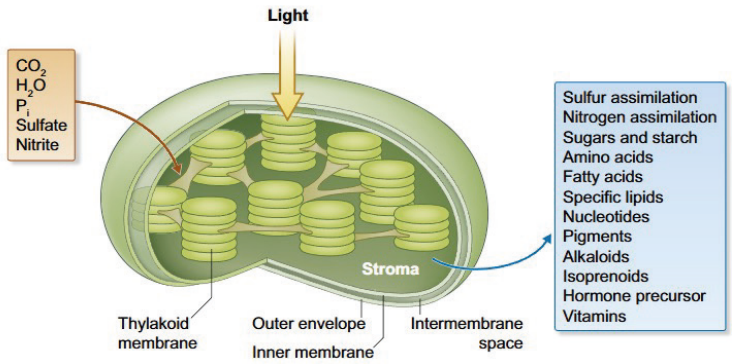


Figura 2: Estructura de un cloroplasto. Fuente: Kirchhoff (2019)

Estos cloroplastos son orgánulos vitales para la supervivencia de los organismos vegetales, ya que es en su interior donde se producen los procesos que conforman la ruta metabólica fotosintética (léase el punto 7.2 para un explicación detallada). Están compuestos por varias membranas, que apuntan a una existencia anterior como un organismo bacteriano de vida libre (Kirchhoff, 2019) que estableció una relación simbiótica con un organismo eucariota.

Como se puede observar en la figura 2, la estructura interna de un cloroplasto está principalmente formada por una matriz líquida, llamada estroma, y varios cuerpos de forma cilíndrica compuestos por tilacoides, dónde se lleva a cabo la mayor parte del proceso fotosintético.

7.2 Modelo de nutrición autótrofa y procesos metabólicos relacionados.

El modelo de nutrición autótrofa se puede definir como el conjunto de procesos por los que un organismo sintetiza materia orgánica a partir de materia inorgánica, con el fin de obtener moléculas orgánicas más complejas, y de mayor utilidad para el organismo, como pueden ser ciertos tipos de glúcidos y otros nutrientes (Segura, 2021), además de energía, en forma de moléculas de ATP (adenosín-trifosfato).

Las plantas carnívoras estudiadas en este proyecto se valen, además de un complejo proceso digestivo primario, de dos rutas metabólicas clave para la obtención de moléculas energéticas necesarias para su crecimiento: la fotosíntesis y la respiración celular.

El autotrofismo vegetal se caracteriza por el uso de luz solar, y la síntesis de oxígeno como producto residual de la siguiente reacción química:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{Energía\ luminosa} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

Figura 3: Reacción fotosintética en organismos vegetales
Fuente: Segura (2021)

Este proceso es el que se conoce de manera cotidiana como fotosíntesis, en el que se sintetizan monosacáridos, como la glucosa, a partir de otros compuestos propiamente inorgánicos.

No obstante, el proceso fotosintético no es tan simple como se percibe en la anterior figura, sino que existen dos fases principales en el transcurso del mismo, llamadas "fase dependiente de la luz" y "fase independiente de la luz" (Segura, 2021).

Estas fases se diferencian, principalmente, en su necesidad de luz solar y la localización en la que se producen. La "fase luminosa" se produce en los tilacoides (nombre que reciben las estructuras internas de los cloroplastos), mientras que la "fase oscura", aún estando localizada principalmente en la membrana tilacoidal, se lleva a cabo en el estroma, nombre que recibe la matriz que rodea a los tilacoides dentro de dichos orgánulos (Segura, 2021).

La fase dependiente de la luz (previamente denominada 'fase luminosa') es aquella en la que se obtienen las moléculas energéticas necesarias para la síntesis de los monosacáridos mencionados anteriormente. Este proceso se lleva a cabo por medio de enzimas proteicas localizadas en los tilacoides, denominadas fotosistemas (Segura, 2021).

Es en esta fase donde las sales minerales e iones absorbidos mediante las raíces cobran importancia, ya que permiten la separación del agua en sus dos componentes principales: H_2 y O_2. Este mismo oxígeno molecular es el que se libera al exterior tras el proceso fotosintético.

Un aspecto fundamental de esta fase es la existencia de pigmentos como la clorofila, carotenoides o las antocianinas, que son cruciales para la obtención de electrones y la liberación de O_2.

La abundancia de dichos pigmentos se puede observar en la figura 4 (De las Rivas, 2000), donde se aprecia una gran diferencia entre los tipos de clorofila, que son los pigmentos que proporcionan el color verde a la mayoría de los organismos vegetales, siendo el más abundante la clorofila a.

Estos pigmentos resultan esenciales para entender la relevancia de la luz solar durante la fotosíntesis, ya que ayudan a absorber diferentes longitudes de onda de luz.

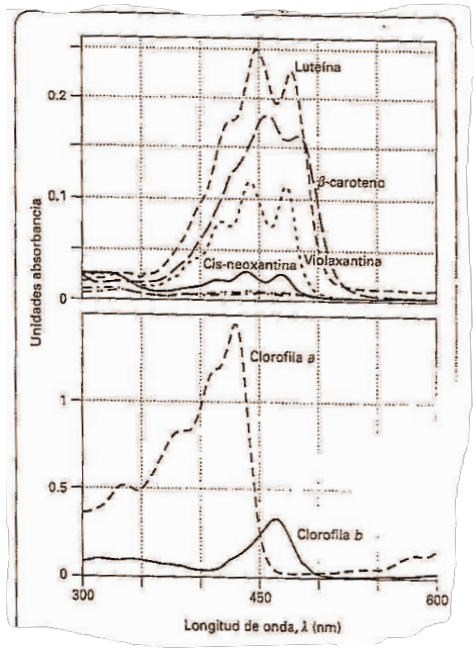


Figura 4: Longitud de onda absorbida por pigmentos clorofílicos y carotenoides durante el proceso fotosintético.
Fuente: De las Rivas (2010)

Tras la conversión de energía luminosa en química, dicha energía pasa por moléculas con capacidad oxidante y reductora, que forman parte del fotosistema II (De las Rivas, 2000).

El resultado del proceso llevado a cabo por estas moléculas es la síntesis de ATP y NADPH, que proporcionan la energía necesaria para la síntesis de glucosa en la fase independiente de la luz, por medio de una ruta metabólica conocida como el ciclo de Calvin.

El proceso fotosintético, constituido por las dos fases anteriormente establecidas, ocurre en su totalidad en dos complejos proteicos localizados en el interior de los cloroplastos: los fotosistemas.

En este ciclo, localizado en el fotosistema I, se utilizan bioelementos, como el carbono, azufre o hidrógeno, dando como resultado glucosa, un monosacárido complejo con fórmula $C_6H_{12}0_6$ (De las Rivas, 2000).

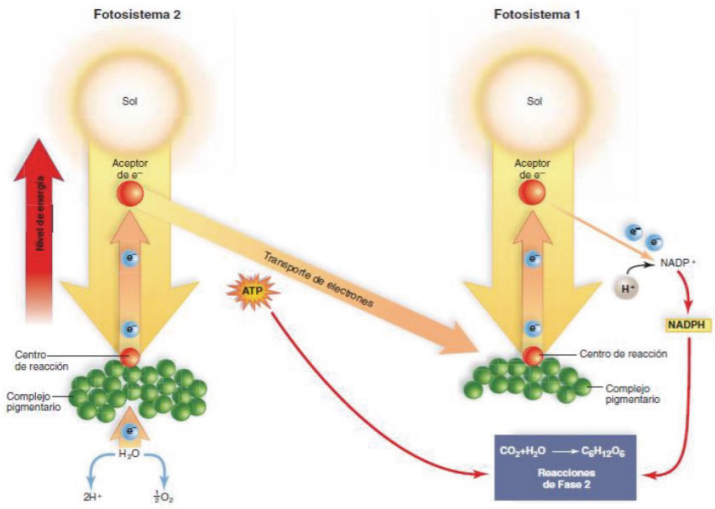


Figura 5: Proceso fotosintético en los fotosistemas tilacoidales
Fuente: Segura (2021)

Sin embargo, la fotosíntesis no es el único proceso metabólico que realizan los organismos autótrofos. Las células vegetales, además de cloroplastos, también poseen mitocondrias, un tipo de orgánulos especializados en la síntesis de moléculas energéticas, específicamente ATP (adenosín-trifosfato), por medio de una ruta metabólica comúnmente conocida como respiración celular.

La obtención de ATP a través de la respiración celular se realiza en base a los carbohidratos obtenidos tras el proceso fotosintético por medio de tres procesos: glucólisis, el ciclo del ácido cítrico (ciclo de Krebs) y la cadena de transporte de electrones, que comprende a su vez la fosforilación oxidativa (Segura, 2021).

La glucólisis es el conjunto de reacciones químicas, catalizadas por diferentes enzimas, que degradan la glucosa obtenida tras la fotosíntesis en moléculas más simples, conocidas bajo el nombre de piruvato (Judge y Dodd, 2020). Estas moléculas son el comienzo del ciclo del ácido cítrico, en forma de acetil-CoA (Segura, 2021).

Uno de los aspectos fundamentales del ciclo de Krebs es la producción de compuestos como el NADH (dinucleótido de nicotinamida y adenina) y $FADH_2$ (flavín adenín dinucleótido), que actúan como coenzimas. Cabe destacar que también se produce ATP durante el mismo ciclo.

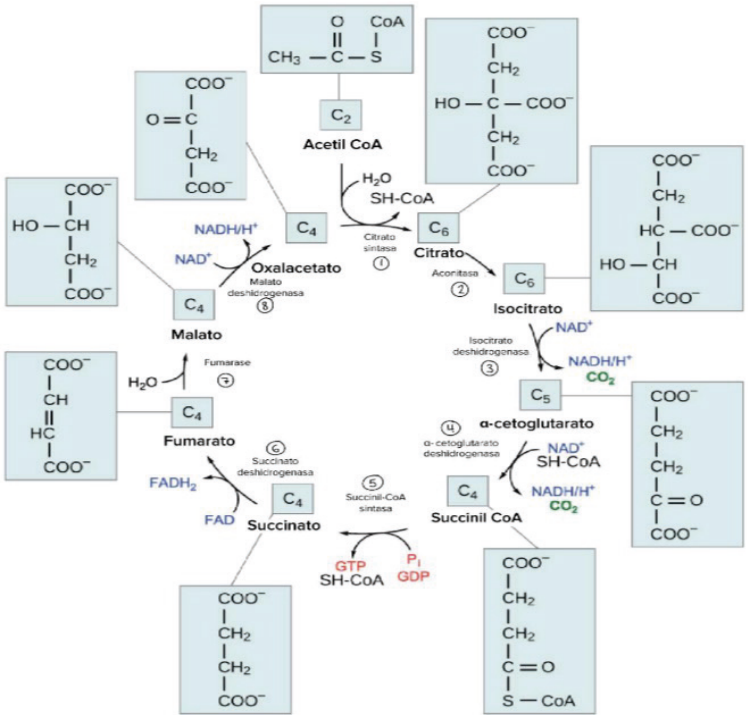


Figura 6: Esquema de desarrollo del ciclo del ácido cítrico
Fuente: Segura (2021)

Tras este ciclo, tiene lugar otro proceso metabólico en el interior de la mitocondria, conocido como fosforilación oxidativa, cuyo resultado es la producción de moléculas de ATP, gracias a los anteriormente mencionados NADH y $FADH_2$ (Segura, 2021).

Estas moléculas energéticas se dan como resultado de la acción de diversas enzimas a lo largo del ciclo de Krebs, como la succinodeshidrogenasa en el caso de $FADH_2$, o alfa-cetoglutarato deshidrogenasa en el caso de NADH.

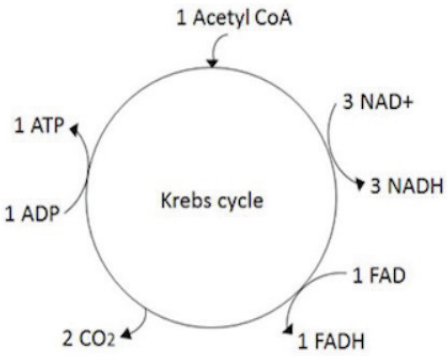


Figura 7: Simplificación del ciclo del ácido cítrico
Fuente: Ricardo (2020)

7.3 Plantas carnívoras

7.3.1 Definición. Criterios de consideración carnívora.

Existen alrededor de unas 300.000 especies de plantas vasculares en nuestro planeta, de las que un pequeño, pero significativo sector, son consideradas como organismos vegetales carnívoros o insectívoros (Adamec, 2010).

Estas plantas tienen un modelo nutricional mixto característico (Mithöfer, 2022) que combina tanto comportamientos propiamente autótrofos (como es la existencia de un proceso fotosintético completo) como heterótrofos, visibles en la captura de artrópodos en las hojas especializadas presentes en dichos organismos vegetales.

Sin embargo, las plantas carnívoras no son las únicas en todo el reino Plantae con una nutrición mixta, ya que existen vegetales con nutrición saprofítica. Este tipo de nutrición consiste en el aprovechamiento de restos orgánicos procedentes de otros seres vivos, como pueden ser cadáveres o restos en descomposición (Adamec, 2010).

Los criterios diferenciales de un organismo vegetal carnívoro, como se indica en Adamec (2010), Mithöfer (2022) y Duno et al. (2023), incluyen aspectos como la obtención funcional de presa, un proceso de digestión completo y el aprovechamiento de los nutrientes obtenidos para el desarrollo de la propia planta.

No obstante, el criterio más importante es el desarrollo de estructuras capaces de capturar y retener a la presa obtenida (como ejemplos de estas estructuras véanse las figuras 8 y 9). Para que una planta sea considerada carnívora tiene que obtener nutrientes de la presa atrapada. Otros organismos vegetales, como algunas orquídeas, tienen mecanismos de captura que sólo aseguran su polinización y no permiten obtener ningún nutriente. (Mithöfer, 2022)



Figuras 8 y 9: Ejemplos de estructuras carnívoras
Fuente: Duno de Stefano et al. (2023)

Estas estructuras son especializaciones procedentes de órganos vegetales básicos, como las hojas (en el caso del género *Sarraceniaceae*), o una mayor abundancia de tricomas glandulares, como se observa en la figura 9, que muestra un ejemplar del género *Droseraceae*, conocido comúnmente como rocío de sol.

7.3.2 Razón para el desarrollo de comportamientos carnívoros en organismos vegetales.

El desarrollo de comportamientos carnívoros en un organismo vegetal no es un hecho que ocurra de la noche a la mañana, sino que requiere de un largo periodo de tiempo, y surge como adaptación al medio ambiente donde habita dicha planta.

La carnivoría vegetal surge como una adaptación a suelos con un pH bajo (3-6), considerados como sustratos ácidos. Este tipo de sustratos contiene una menor concentración de iones metálicos y otros elementos que resultan esenciales en el proceso de fotosíntesis, como son el nitrógeno, fósforo, sodio y calcio. Este déficit nutricional es considerado como el principal motivo del desarrollo de carnivoría (Mithöfer, 2022)

Concretamente, el nitrógeno resulta esencial por su presencia en diferentes pigmentos fotosintéticos dentro de los cloroplastos vegetales, concretamente en la clorofila. Un déficit de nitrógeno se relaciona directamente con una deficiencia en la efectividad fotosintética del organismo vegetal y su cantidad de clorofila.

Como se explica en Adamec (2010), el terreno donde suelen habitar estas plantas se ve sometido a varias condiciones que, normalmente, llevarían a pensar que el crecimiento vegetal fuese imposible.

Un ejemplo de esto es la existencia de áreas de crecimiento inundadas. Este tipo de condiciones hacen incluso más relevante la formación de estructuras con capacidad de atrapar insectos y otros artrópodos.

Este tipo de sustrato también posee un menor potencial para mantener y catalizar reacciones de tipo reducción-oxidación (Adamec, 2010). Un detrimento en el potencial para llevar a cabo estas reacciones resulta de forma inevitable en una disminución en la obtención de moléculas energéticas durante el proceso fotosintético, específicamente en su primera etapa, donde gracias a moléculas oxidorreductoras, se podían obtener moléculas tanto de ATP como de NADPH, que permiten la obtención de glucosa (léase el punto 7.2).

7.3.3 Trampas y métodos de atracción

Los organismos vegetales carnívoros no son cazadores convencionales. En lugar de perseguir a su presa y acabar con su vida de forma activa, dependen de diferentes métodos de atracción. Esto los convierte en depredadores pasivos, con una estrategia de caza más parecida a otros seres vivos heterótrofos de nutrición pasiva, que esperan a que su presa caiga en sus trampas especializadas, donde se inicia el proceso de digestión (Mithöfer, 2022).

Estos métodos de atracción no incluyen sólo las trampas individuales de cada especie, sino que también comprenden otros factores paralelos a la existencia de estas estructuras. Como se menciona en Mithöfer (2022), los factores más relevantes a la hora de analizar las estrategias de obtención de presa de estos organismos incluyen señales relacionadas con compuestos aromáticos y recompensas nutricionales, en el caso del néctar.

En el caso de los estímulos olfativos, muchas especies de plantas carnívoras, especialmente aquellas pertenecientes a la familia *Sarraceniaceae*, liberan compuestos de carácter aromático, como aldehídos, ésteres o incluso compuestos basados en el azufre (encontrados de forma exclusiva en las trampas de *Sarracenia purpurea*) para atraer a sus presas (Jürgens et al., 2009).

No obstante, este tipo de olores no es exclusivo de la familia *Sarraceniaceae*. Otros tipo de plantas carnívoras, como la familia *Nepenthaceae*, o la Venus atrapamoscas *(Dionaea muscipula)*, también emiten compuestos aromáticos volátiles, de mayor parecido a aquellos olores que poseen las flores de otras plantas de nutrición propiamente autótrofa.

Aunque dichos aromas son considerados de vital importancia para la capacidad de atracción de presa, el néctar influye de forma considerable, sobre todo en la atracción de insectos comprendidos dentro de la familia *Formicidae* (Mithöfer, 2022).

El néctar usado como agente atractor por parte de estas plantas se conoce como EFN (‘extrafloral nectar’ por sus siglas en inglés), y es considerado como la variable más importante a la hora de determinar la cantidad de presa atraída en la mayoría de plantas carnívoras.

Este néctar se produce en glándulas especializadas, cuya disposición depende de la especie de planta carnívora observada. En el caso de la planta elegida como sujeto de estudio, *Sarracenia purpurea*, estas glándulas se encuentran en su parte superior, concretamente en la zona de la ‘boca’ de las trampas (Cipollini et al., 1994). Estas plantas producen, además, néctar en sus opérculos, con ayuda de los tricomas glandulares localizados en el envés de dichas estructuras.

Uno de los mecanismos de atracción más estudiados en las plantas carnívoras son los estímulos visuales. *Sarracenia purpurea* posee unos pigmentos denominados antocianinas, también encontrados en frutos como los arándanos o las granadas. Este tipo de pigmentos, junto con otros como los flavonoides, son cruciales para la composición cromática de la planta (Sheridan et al., 2001).

Esta especie de planta carnívora posee todos los tipos de pigmentos encasillados dentro de los pigmentos antociánicos, como son la malvidina, delfinidina y pelargonidina, entre otros. Sin embargo, estos compuestos químicos no asisten en el éxito de captura de *Sarracenia purpurea*, sino que el néctar extrafloral sirve como el principal compuesto atractor (Bennett y Ellison, 2009).

Es decir, la coloración de las trampas de *Sarracenia purpurea* no influye en la cantidad de presa obtenida, sino que su éxito es enteramente dependiente de la producción de néctar y los compuestos volátiles emitidos por las trampas.

7.4 Objeto de estudio: planta jarra morada *(Sarracenia purpurea)*

7.4.1 Distribución geográfica y fundamentos nutricionales de la misma.

La familia *Sarraceniaceae* comprende tres grupos fundamentales, siendo estos los siguientes géneros: *Darlingtonia, Sarracenia* y *Heliamphora*. Estos se encuentran claramente diferenciados en áreas muy separadas del continente americano (Ellison et al., 2012). Concretamente, el género Sarracenia, al que pertenece la planta jarra púrpura, habita la costa atlántica de los Estados Unidos y Canadá, adentrándose hacia los Grandes Lagos y la zona sur de Canadá. Este género es el más abundante dentro de la familia *Sarraceniaceae*, lo que da nombre a la misma.

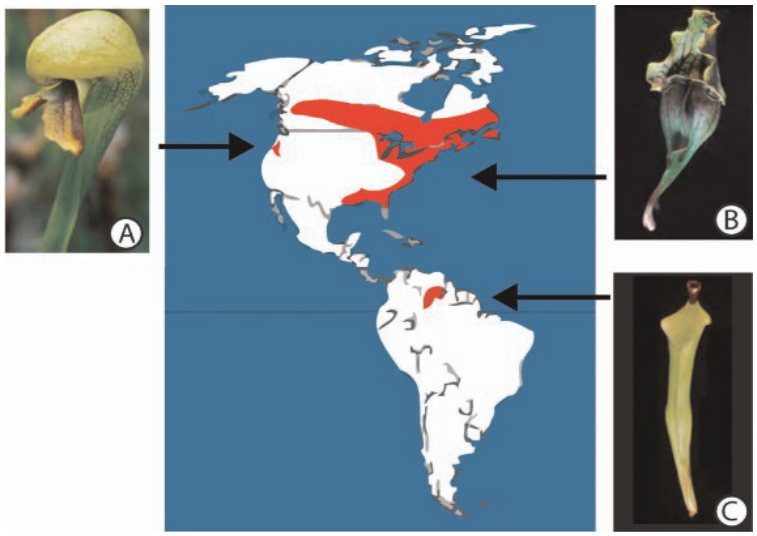


Figura 10: Distribución geográfica de la familia *Sarraceniaceae*
Fuente: Ellison et al. (2012)

La planta jarra púrpura, con nombre científico *Sarracenia purpurea* (perteneciente al grupo B indicado en la figura 10), crece a lo ancho de todo el norte del continente americano, incluyendo zonas sureñas de Canadá, que son ricas en turberas y ciénagas (denominadas 'bog' en inglés) (Ellison et al., 2012).

La hipótesis más aceptada para la gran expansión continental de *Sarracenia purpurea* corresponde al carácter hidrófobo de las semillas sintetizadas por la planta, lo que hace que sean capaces de ser esparcidas en medios acuáticos (Docktyz et al., 2011)

Las turberas se definen como sustratos derivados de la descomposición de material orgánico (principalmente de origen briófito) con capas formadas a lo largo del mismo proceso de descomposición.

De acuerdo al informe presentado en el año 2009 por el Ministerio de Transición Ecológica y Medio Rural, un terreno debe cumplir las siguientes condiciones para poder ser considerado una turbera:

- **Existencia de diferentes estratos de materia orgánica en descomposición:** un corte geológico dentro de una turbera revela varios estratos o capas de material de origen vegetal en descomposición.
- **Alto contenido de humedad:** esto se debe a la porosidad del sustrato, y su capacidad para mantener un porcentaje alto de humedad.
- **Contenido alto de materia orgánica:** las turberas se dividen en diferentes tipos dependiendo de la procedencia del agua que las riega. Las turberas ombrotróficas, dependientes del agua de lluvia, poseen más materia orgánica que aquellas regadas por agua procedente de otras fuentes, como manantiales (Cortizas et al., 2009).

Uno de los aspectos más relevantes a la hora de considerar el crecimiento de organismos vegetales en turberas es el pH (potencial de hidrógeno) del sustrato. El pH determina la acidez del terreno y, a grandes rasgos, se define con la siguiente fórmula, donde $[H^+]$ indica la concentración de protones existentes en el medio.

$$\mathrm{pH} = -\log_{10}[\mathrm{H}^+]$$

Figura 11: Fórmula para el cálculo del potencial de hidrógeno
Fuente: Elaboración propia + software LaTeX

Un medio con un pH entre 1 y 6 se considera como un medio ácido, en el que otras especies vegetales proliferan de forma excepcional, tanto por métodos de reproducción sexual como asexual. No obstante, esta proliferación causa un déficit de nitrógeno y oxígeno en el sustrato. Esto se traduce de forma directa en el desarrollo de estructuras carnívoras en *Sarracenia purpurea* (Docktyz et al., 2011).

Sarracenia purpurea es una especie contenida dentro del género *Sarraceniaceae*, y, por tanto, se ve incluida en el grupo denominado como plantas jarra, por el más que notable parecido de sus trampas a una jarra. Esta denominación, asimismo, también denota su método de atracción, digestión y obtención de nutrientes esenciales.

Estas plantas, junto con el resto del género *Sarracenia*, son increíblemente sensibles a las fluctuaciones en la concentración de nitrógeno, fósforo y otros elementos encontrados en el sustrato donde crecen.

Esta sensibilidad viene dada por la dependencia de una fuente externa de dichos elementos, que corresponde a los insectos y otros artrópodos de los que se 'alimentan' (Ellison y Gotelli, 2002). Es decir, el déficit natural de los elementos anteriormente mencionados se suple de forma directa con la atracción y digestión de diversos artrópodos.

Los órganos carnívoros hallados en *Sarracenia purpurea* son variaciones fenotípicas de unas estructuras conocidas como filodios. Estos filodios podrían ser definidos como hojas en las que el pecíolo (el pequeño tallo que conecta la hoja al tallo principal o al rizoma) se encuentra ausente.

De acuerdo a los experimentos realizados por Ellison y Gotelli, la producción de filodios puros en lugar de las trampas típicas de esta especie se daría por una disminución en la accesibilidad a concentraciones de nitrógeno adecuadas para un correcto crecimiento vegetal.

En cuanto a su estructura y morfología, la razón tras el desarrollo de las trampas de la planta jarra púrpura se ha establecido en la evolución selectiva de hojas curvadas donde se formaban pequeñas piscinas de agua, donde los insectos se posaban y perecían. Aquellas hojas con una mayor capacidad de almacenamiento se vieron evolutivamente favorecidas, lo que, finalmente, derivó en las trampas conocidas a día de hoy (Nolan, 2015).

De acuerdo a la discusión expuesta en Nolan (2015), aunque con un gran desacuerdo dentro de la comunidad botánica, se distinguen cuatro zonas relevantes dentro de la estructura básica de una trampa de *Sarracenia purpurea*:

- **Primera zona (Opérculo o tapa)**
  Este área de la trampa se encuentra dispuesta sobre la apertura de la trampa. Una particularidad relativa al opérculo de esta especie es la presencia de una gran cantidad de tricomas (estructuras con forma de pequeños pelos). Estos tricomas tienen dos funciones fundamentales: secreción de pequeñas cantidades de néctar y redirección de la presa hacia la segunda zona: el peristoma. Además, también permite la entrada directa de agua de lluvia, lo que facilita la síntesis del líquido digestivo y la existencia de seres vivos simbióticos allí localizados.
- **Segunda zona (Peristoma o boca)**
  El peristoma tiene una función específica en esta especie: la producción de grandes cantidades de néctar (Cipollini et al., 1994), denominado como néctar extrafloral en Mithöfer (2022).
  Este néctar tiene una función homóloga al encontrado en las flores de otras plantas, siendo esta la atracción de insectos.
  No obstante, el propósito de este néctar no está relacionado en absoluto con un propósito de polinización, sino que sirve una función de lubricación del peristoma.
  Esta zona de la trampa está compuesta por células superpuestas, con carácter hidrófilo, lo que la hace muy resbaladiza (Nolan, 2015).
- **Tercera zona (Área cerosa)**
  La luz de la trampa en este área está cubierta por una sustancia cerosa, que sirve un propósito deslizante. Esto evita que la presa pueda volver a ascender hacia el peristoma una vez alcanzada esta zona (Nolan, 2015).
  Se conecta de forma directa con la última zona que constituye una trampa individual: el sector digestivo.
- **Cuarta zona (Sector digestivo)**
  Esta última zona es la responsable de la digestión propiamente dicha de la presa. Cuenta con más tricomas orientados hacia la base de la trampa que ayudan con la retención de la presa.

Sarracenia purpurea sólo produce enzimas digestivas durante las primeras semanas tras su maduración completa (Adlassnig et al., 2010).

Esta breve producción de enzimas lleva a un aspecto crucial en este proyecto: la existencia de organismos simbióticos dentro de las trampas de S.purpurea.

Estas plantas sirven como huésped de gran variedad de organismos, habiendo sido registradas hasta 165 diferentes especies dentro de sus trampas (Adlassnig et al., 2011).

Entre estas especies se observan un amplio abanico de bacterias, rotíferos, larvas de quironómidos (insectos similares a mosquitos), diversos tipos de hongos y protozoos (Mouquet et al., 2008). Sin embargo, entre todos estos seres vivos, las bacterias y quironómidos tienen un rol central, siendo estos los organismos que más contribuyen a la descomposición de la presa obtenida.

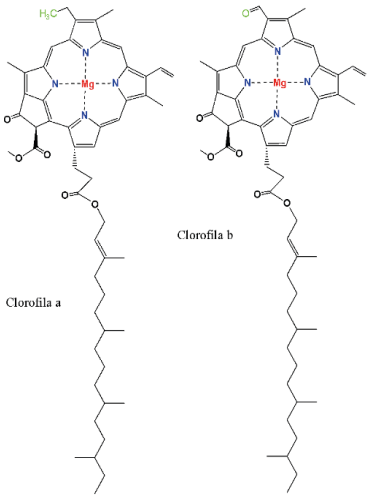


Figura 12: Estructura de la clorofila (átomos de N indicados en azul) Fuente: Zavala et al. (2025)

El conjunto de estos seres vivos y el medio acuático que habitan es conocido como fitotelma (o fitotelmata, en su forma plural). De acuerdo al estudio llevado a cabo por Mouquet, Daufresne, Gray y Miller, estos organismos son los principales responsables de la adquisición de nitrógeno por parte de la planta. El nitrógeno es esencial por su presencia en pigmentos como la clorofila, carotenoides y antocianinas, por lo que una obtención eficiente del mismo resulta fundamental para el correcto desarrollo del organismo vegetal.

Como se puede ver en la figura 12, la clorofila posee cuatro átomos de nitrógeno en su anillo central, lo que implica, de forma visual, la importancia de dicho elemento.

La clave del éxito digestivo de *Sarracenia purpurea* recae en la comunidad microbiana presente en su fitotelma. Los organismos en su fluido digestivo descomponen la materia orgánica que cae en la trampa en nutrientes que, posteriormente, son absorbidos por la propia planta (Gray et al., 2012).

La presa capturada por *Sarracenia purpurea* se encuentra compuesta principalmente por tres órdenes de insectos: Formicidae, Coleoptera y Diptera. La mayor presa del género *Sarracenia* está constituida por hormigas (Formicidae), mientras que Coleoptera (escarabajos) y Diptera (moscas y mosquitos) constituyen una menor pero relevante parte de la misma.

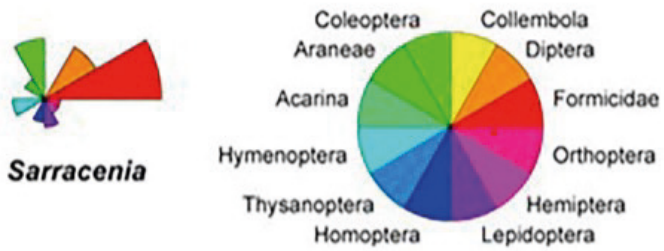


Figura 13: Presa del género *Sarracenia*. Fuente: Mithöfer (2022)

8) METODOLOGÍA

8.1) Experimentación preliminar: cuidados básicos de *Sarracenia purpurea sub. purpurea*

La primera fase experimental constituyó un método de valoración sobre la realización del proyecto. Es decir, sirvió para comprobar si podíamos brindar las condiciones básicas de supervivencia a los sujetos de estudio en el ámbito del centro educativo. Estas condiciones básicas fueron alcanzables tanto por medio de un calendario de riego que incluyó los meses de mayo, junio, julio y agosto, como del uso de un sustrato con carácter ácido y un drenaje adecuado.

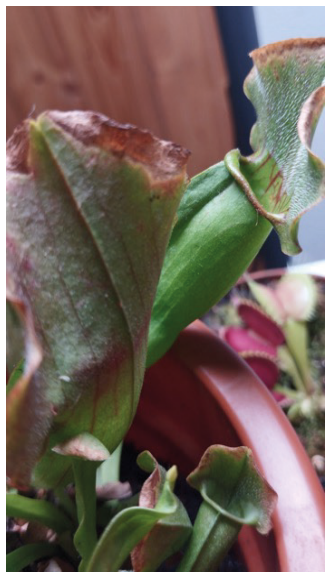


Figura 14: Daños observados en los dos primeros especímenes adquiridos durante el verano Fuente: Elaboración propia

Los diferentes colores indican los periodos de riego (en color azul claro) y los periodos en los que las plantas son retiradas de la bandeja de riego (en color rojizo). Estos calendarios corresponden a las figuras 15 a 18.

Las plantas de la especie *Sarracenia purpurea*, de acuerdo a su geografía, son organismos vegetales acostumbrados a niveles de humedad elevados y una larga exposición diaria a la luz solar.

Debido a esto, el riego tuvo que llevarse a cabo de una forma en la que los niveles de humedad y la exposición solar fueran uniformes para las dos primeras plantas.

Para mantener dicho nivel de humedad, el riego se realizó por medio de una bandeja, llena de agua desionizada (sinónimo de destilada) en la que se colocaron las macetas de *Sarracenia purpurea*. El agua destilada fue utilizada por una razón específica: este tipo de agua carece de iones disueltos, lo que evita una posible sobredosis letal para la planta, que es muy sensible a la fluctuación de iones metálicos. Estos periodos de riego en dicha bandeja se ven reflejados en los recuadros de color azulado (veánse los

calendarios de riego adjuntos), con una duración media de entre dos y tres días a lo largo de la primera fase.

La parte superior de las plantas se tornó de color marrón por la falta de iluminación adecuada y las altas temperaturas del periodo de tiempo (figura 14).

Para evitar que los daños se agravaran, una fuente de iluminación LED fue adquirida. Este tipo de aparatos simulan el espectro de luz completo que proporciona la luz solar, lo que nos permitió continuar con el cuidado de las plantas iniciales sin depender enteramente de la pobre iluminación de la que disponíamos al inicio de la fase experimental. Estos cuidados iniciales fueron llevados a cabo durante cuatro meses, entre el laboratorio de biología (en mayo y junio) y mi domicilio (en los meses de julio y agosto).

	Mayo 2025						
1ª semana				Jueves 1	Viernes 2	Sábado 3	Domingo 4
2ª semana	Lunes 5	Martes 6	Miércoles 7	Jueves 8	Viernes 9	Sábado 10	Domingo 11
3ª semana	Lunes 12	Martes 13	Miércoles 14	Jueves 15	Viernes 16	Sábado 17	Domingo 18
4ª semana	Lunes 19	Martes 20	Miércoles 21	Jueves 22	Viernes 23	Sábado 24	Domingo 25
5ª semana	Lunes 26	Martes 27	Miércoles 28	Jueves 29	Viernes 30	Sábado 31	

Figura 15: Calendario de riego (mayo de 2025)
Fuente: Elaboración propia

	Junio 2025						
1ª Semana							Domingo 1
2ª Semana	Lunes 2	Martes 3	Miércoles 4	Jueves 5	Viernes 6	Sábado 7	Domingo 8
3ª Semana	Lunes 9	Martes 10	Miércoles 11	Jueves 12	Viernes 13	Sábado 14	Domingo 15
4ª Semana	Lunes 16	Martes 17	Miércoles 18	Jueves 19	Viernes 20	Sábado 21	Domingo 22
5ª Semana	Lunes 23	Martes 24	Miércoles 25	Jueves 26	Viernes 27	Sábado 28	Domingo 29
6ª Semana	Lunes 30						

Figura 16: Calendario de riego (junio de 2025)
Fuente: Elaboración propia

	Julio 2025						
1ª semana		Martes 1	Miércoles 2	Jueves 3	Viernes 4	Sábado 5	Domingo 6
2ª semana	Lunes 7	Martes 8	Miércoles 9	Jueves 10	Viernes 11	Sábado 12	Domingo 13
3ª semana	Lunes 14	Martes 15	Miércoles 16	Jueves 17	Viernes 18	Sábado 19	Domingo 20
4ª semana	Lunes 21	Martes 22	Miércoles 23	Jueves 24	Viernes 25	Sábado 26	Domingo 27
5ª semana	Lunes 28	Martes 29	Miércoles 30	Jueves 31			

Figura 17: Calendario de riego (julio de 2025)
Fuente: Elaboración propia

	Agosto 2025						
1ª semana					Viernes 1	Sábado 2	Domingo 3
2ª semana	Lunes 4	Martes 5	Miércoles 6	Jueves 7	Viernes 8	Sábado 9	Domingo 10
3ª semana	Lunes 11	Martes 12	Miércoles 13	Jueves 14	Viernes 15	Sábado 16	Domingo 17
4ª semana	Lunes 18	Martes 19	Miércoles 20	Jueves 21	Viernes 22	Sábado 23	Domingo 24
5ª semana	Lunes 25	Martes 26	Miércoles 27	Jueves 28	Viernes 29	Sábado 30	Domingo 31

Figura 18: Calendario de riego (agosto de 2025)
Fuente: Elaboración propia

Tras la adquisición de la fuente de iluminación, la exposición a esta fuente se extendió a un periodo de entre ocho y doce horas diarias, con el fin de brindar un periodo de iluminación similar al que existiría en su hábitat natural. Además, se continuó con el riego establecido, usando exclusivamente una bandeja con agua desionizada en la que se depositaron las plantas de acuerdo a los calendarios de riego realizados.

	Septiembre 2025						
1ª semana	Lunes 1	Martes 2	Miércoles 3	Jueves 4	Viernes 5	Sábado 6	Domingo 7
2ª semana	Lunes 8	Martes 9	Miércoles 10	Jueves 11	Viernes	Sábado	Domingo
3ª semana	Lunes 15	Martes 16	Miércoles 17	Jueves 18	Viernes 19	Sábado 20	Domingo 21
4ª semana	Lunes 22	Martes 23	Miércoles 24	Jueves 25	Viernes 26	Sábado 27	Domingo 28
5ª semana	Lunes 29	Martes 30					

	Octubre 2025						
1ª semana			Miércoles 1	Jueves 2	Viernes 3	Sábado 4	Domingo 5
2ª semana	Lunes 6	Martes 7	Miércoles 8	Jueves 9	Viernes 10	Sábado 11	Domingo 12
3ª semana	Lunes 13	Martes 14	Miércoles 15	Jueves 16	Viernes 17	Sábado 18	Domingo 19
4ª semana	Lunes 20	Martes 21	Miércoles 22	Jueves 23	Viernes 24	Sábado 25	Domingo 26
5ª semana	Lunes 27	Martes 28	Miércoles 29	Jueves 30	Viernes 31		

	Noviembre 2025						
1ª semana						Sábado 1	Domingo 2
2ª semana	Lunes 3	Martes 4	Miércoles 5	Jueves 6	Viernes 7	Sábado 8	Domingo 9
3ª semana	Lunes 10	Martes 11	Miércoles 12	Jueves 13	Viernes 14	Sábado 15	Domingo 16
4ª semana	Lunes 17	Martes 18	Miércoles 19	Jueves 20	Viernes 21	Sábado 22	Domingo 23
5ª semana	Lunes 24	Martes 25	Miércoles 26	Jueves 27	Viernes 28	Sábado 29	Domingo 30

Figuras 19, 20 y 21: Calendarios de riego (Otoño 2025)
Fuente: Elaboración propia.

Al comienzo del curso escolar, los dos ejemplares de *Sarracenia purpurea* fueron llevados de vuelta al laboratorio de biología del instituto, donde pasaron las dos primeras semanas del mes de septiembre. Su evolución fue ligeramente favorable en comparación con los meses de verano. El principal indicador de mejoría en dichos ejemplares se pudo observar en una de sus trampas, que se había tornado de un color granate intenso, que los ejemplares encontrados en su hábitat natural muestran de forma uniforme.

Sin embargo, las trampas comenzaron a marchitarse una vez fueron trasladadas al laboratorio. Para intentar solventar dicho inconveniente, la frecuencia de riego en los calendarios asignados a los meses que componen el primer trimestre del año escolar fueron ligeramente alterados. El principal cambio en los calendarios consistió en un ajuste de los días de riego. La frecuencia de riego fue disminuida de forma significativa, con el objetivo tanto de evitar posibles daños por marchitación como de preparar las plantas para un posible cambio de temperatura a lo largo de los meses de octubre y noviembre, cuando el clima se torna más húmedo y frío. Esta decisión reportó resultados favorables.

8.2) Experimentación principal: variación de los parámetros ambientales y medición de la concentración bacteriana

Esta segunda fase experimental tuvo lugar los meses de septiembre, octubre y noviembre. Durante su transcurso, seis especímenes más fueron adquiridos, con el fin de disponer de una mayor muestra experimental sin acarrear un coste económico demasiado elevado. El primer inconveniente encontrado durante esta fase experimental fue el retraso en la entrega tanto del sustrato base como de las propias plantas, lo que restó entre dos semanas y un mes al tiempo disponible para la experimentación.

El principal objetivo de esta segunda fase experimental fue la medición de la síntesis y crecimiento de nuevas trampas en seis especímenes de *Sarracenia purpurea*, mientras que otros parámetros como la temperatura e iluminación fueron compartidos por todos las plantas.

Durante el transcurso del mes de septiembre, las plantas fueron trasladadas de las macetas en las que fueron recibidas a recipientes plásticos de 16 cm de diámetro. Este cambio se hizo con el fin de garantizar que los sujetos de estudio tuvieran suficiente espacio libre para que el creci-

miento fuese fácilmente observable y que las condiciones básicas de los ocho especímenes fueran idénticas entre sí.

El sustrato utilizado para el trasplante de las plantas más recientemente adquiridas estuvo compuesto por partes equitativas de turba (léase el epígrafe 7.4.1) y perlita, un compuesto cuya finalidad es aumentar el drenaje alrededor de las raíces.

La localización de los sujetos de estudio cambió de nuevo a mi domicilio en las últimas semanas del mes de septiembre, debido a la utilización del laboratorio de Biología para fines didácticos. Como consecuencia del cambio de ubicación, el valor de temperatura previo varió ligeramente. Sin embargo, esta pequeña variación no pareció afectar de manera significativa a las plantas.

El mes de octubre supuso una interrupción en el progreso experimental por el retraso en la obtención de los artrópodos.

Asimismo, uno de los sujetos de estudio (numerados del 1 al 6) se marchitó tras la aparición de un hongo tipo moho en su rizoma. Esto llevó a una redirección de la fase experimental, necesaria tras la disminución de la ya pequeña muestra experimental.

La muestra experimental se dividió en un grupo de control, y dos grupos de carácter experimental. Estos grupos experimentales, a su vez, estaban constituidos por dos especímenes de *Sarracenia purpurea* cada uno.

Elección de los artrópodos y metodología de alimentación.

Las variables independientes en este proyecto, como ya se pudo observar en los objetivos y la hipótesis principal, fueron los tipos de artrópodos proporcionados a la planta durante el transcurso de varias semanas. La duración del marco experimental se vió reducida por el retraso en la obtención de dichos artrópodos, obtenidos de forma *online* en Amazon, que fueron entregados en mi domicilio el día 12 de noviembre.

Los insectos fueron adquiridos en estado deshidratado, con el fin de reducir el coste de cuidados requeridos por la presa viva. Otra razón fue evitar que pudieran sufrir un proceso de metamorfosis durante la etapa experimental, lo que alteraría las condiciones establecidas al inicio del experimento.

Las dos especies escogidas fueron el escarabajo molinero o gusano de la harina *(Tenebrio molitor)* y la mosca soldado negra *(Hermetia illucens)*, ambas en sus etapas larvarias. Esta elección fue propiciada por varios factores:

- **Facilidad de obtención:** ambas especies son habitualmente criadas con la idea de ser usadas como alimento, tanto vivo como deshidratado, para mascotas como reptiles, anfibios o roedores. Esto hizo su obtención mucho más sencilla, ya que son comercializadas a nivel global en plataformas como Amazon.
- **Estado larvario:** la planta jarra púrpura, como se trata en el punto 7.4.2, sólo produce enzimas digestivas durante un breve periodo de tiempo tras la apertura total de sus trampas.
  El estado larvario de *Tenebrio molitor* y *Hermetia illucens* supuso un beneficio para el desarrollo experimental, ya que los insectos en estado larvario no poseen (de forma general) un exoesqueleto tan resistente como el de sus etapas de desarrollo más avanzadas.
  Esto permitió que las bacterias simbióticas, encargadas de la digestión de la presa, tuvieran una menor dificultad a la hora de penetrar el exoesqueleto y digerir la presa.
- **Venta de presa deshidratada:** esta elección también se vió influenciada por su conveniencia para la investigación. La obtención de presa deshidratada se tradujo en una disminución significativa en el mantenimiento requerido, ya que no es necesario alimentar a los insectos ni evitar una posible metamorfosis de los mismos.

Los miércoles del mes de noviembre se tomaron como días de alimentación, comenzando el día 12 de noviembre del año 2025. Debido al tamaño de las larvas, se tomó la decisión de proporcionar dos larvas de *Tenebrio molitor* por cada larva de *Hermetia illucens*. La siguiente figura muestra la comparativa de tamaño entre ambos tipos de larvas:



Figura 22: Larvas de *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor* en estado deshidratado Fuente: Elaboración propia

Todas las trampas de los especímenes de *Sarracenia purpurea* fueron llenadas con agua destilada hasta tres cuartos de su capacidad máxima (aproximadamente 7 ml/trampa), incluyendo la planta usada como grupo de control. Este paso fue crucial para el proceso digestivo de las mismas, ya que no tuvieron la posibilidad de captar agua de lluvia para llenar sus trampas.

Este agua, a su vez, sirvió como medio de proliferación bacteriana, muy relevante en la segunda parte de la fase experimental principal, relacionada al cultivo y proliferación de colonias bacterianas.

iButtons: método de control ambiental.

La base metodológica del proyecto recae en la presencia de las mismas condiciones fundamentales para todos los sujetos de estudio. Estas condiciones fueron supervisadas con el uso de higrómetros llamados iButtons.

Este sistema toma los valores de temperatura y humedad ambientales en intervalos designados por el usuario, lo que permite un control muy eficiente sobre estas variables fijas.

El proceso de monitorización de temperatura y humedad se dividió en varias fases:

- **Instalación del software Java:** este programa constituyó la base de programación del lanzador de los iButtons, y permitió la instalación de los controladores necesarios para el correcto funcionamiento de los mismos. La siguiente figura constituye la garantía de que el software Java fue correctamente instalado para su uso en los siguientes pasos de la medición de las variables fijas.

```
C:\Users\jorge>java -version
java version "1.8.0_461"
Java(TM) SE Runtime Environment (build 1.8.0_461-b11)
Java HotSpot(TM) Client VM (build 25.461-b11, mixed mode)
```

Figura 23: Comprobación de la versión del software Java en Símbolo del sistema. Fuente: Elaboración propia

- **Instalación de los *drivers* y el programa OneWireViewer.jar:** OneWireViewer.jar es un programa ligado a los iButtons que permite un control absoluto sobre la frecuencia de toma de datos de los termómetros.
  Su principal aportación al proyecto fue la visualización gráfica de la información guardada por los iButtons durante la fase experimental.
  Cada iButton (llamado así por su más que notable similitud a un botón) registra datos de forma individual en intervalos seleccionados por el usuario. La medición, en el caso de este proyecto, se estableció cada 300 segundos. Esto permitió la obtención de decenas de miles de valores de temperatura y humedad durante todo el transcurso experimental.
- **Disposición de los iButton:** una vez configurados, los iButtons fueron dispuestos sobre el sustrato de los sujetos de estudio, con el fin de que pudieran registrar valores de temperatura y humedad fieles. Se utilizaron en total cinco iButtons en las plantas y dos en la selección del voltaje de las incubadoras bacterianas.

Análisis microbiológico: toma de muestras, siembra e incubación

La segunda parte de esta fase experimental se focalizó en la extracción, cultivo y comparación de las concentraciones bacterianas dentro de las trampas de *Sarracenia purpurea*, con el fin de comprobar o desmentir la hipótesis secundaria planteada.

Esta parte también se vió dividida en tres fases diferenciadas:

Introducción a las incubadoras y elección de la temperatura: la forma más accesible de trabajar con bacterias en el ámbito microbiológico es mediante la realización de cultivos. Estos cultivos permiten observar fluctuaciones en la concentración bacteriana de forma sencilla.
El centro dispuso de cuatro incubadoras de pequeño tamaño, con dos modos de voltaje, que fueron usadas para proporcionar las condiciones óptimas a las colonias extraídas del fluido digestivo de *Sarracenia purpurea*.
Dichas incubadoras poseían dos posibles intensidades, que determinaron la temperatura de incubación: 125V o 220V.
Tras el uso de dos de los iButtons en dos incubadoras con distinto valor de V, se determinó que el valor que proporcionaba la temperatura adecuada para el crecimiento bacteriano era 220V.

Preparación de las placas Petri: a la hora de sembrar bacterias, la base más utilizada es un sólido gelatinoso conocido como agar-agar, un polímero derivado de algas verdes.
El caldo de cultivo bacteriano se preparó tanto con agar-agar como con gelatina animal, con el objetivo de encontrar la base más adecuada para las necesidades nutricionales de las bacterias a incubar (léase el apartado 6.2).

Esta base está habitualmente contenida por placas Petri, pequeños recipientes de vidrio o plástico esterilizados, en los que se vierte el caldo de cultivo caliente, dejando que este se solidifique.

La preparación del caldo de cultivo se realizó de acuerdo a la guía en línea de Andrea Nieto Quero y Enrique Viguera Mínguez, alumna y profesor de Genética de la Universidad de Málaga (véanse los anexos para un enlace a la guía), siguiendo estos pasos:

1. Esterilización de las placas Petri

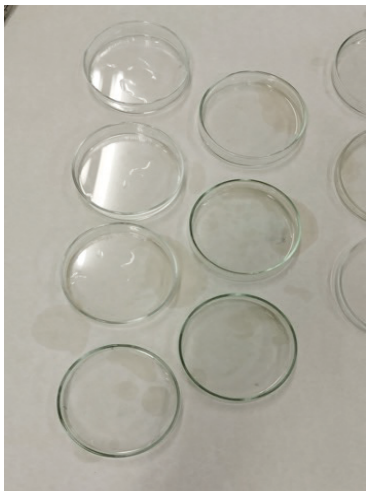
La esterilización es el proceso por el que se elimina cualquier tipo de organismo microbiano presente en un recipiente o equipamiento de laboratorio, normalmente llevado a cabo dentro de aparatos como autoclaves o hornos de alta temperatura.

El método utilizado para la esterilización en el caso de este proyecto fue hervir todo el material implicado en la preparación del caldo de cultivo en agua destilada, en intervalos de diez minutos.

Dispusimos de seis placas de vidrio y cinco placas de plástico, lo que impidió una esterilización completa del material, ya que hervir las placas de plástico habría provocado que estas se deformaran, haciendo que no pudieran hacer su función de forma eficiente.

Asimismo, también se esterilizaron una pipeta, unas pinzas y varios tubos de ensayo, utilizados en el tercer paso de este proceso, junto con sus respectivos tapones.





Figuras 24 y 25: Esterilización de las placas Petri.
Fuente: Elaboración propia.

2. Preparación del caldo de cultivo

El caldo de cultivo es la base del cultivo bacteriano donde las colonias se desarrollan. Aunque existen diversos tipos, como líquido o semilíquido, la base utilizada en este caso fue sólida.

Este estado de la base de cultivo se obtuvo mediante la adición de compuestos espesantes, entre los que se usaron agar-agar y gelatina.

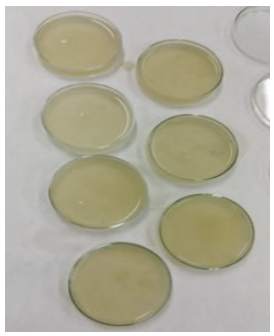
Estos dos compuestos son muy similares en cuanto a características físicas, siendo diferentes en su origen y composición química. La gelatina es un producto de origen animal, extraído de huesos y cartílago. En cambio, el agar-agar es un glúcido con origen en algas verdes.

En el caso de esta fase experimental, se utilizaron tanto gelatina como agar-agar con el objetivo de observar cuál se adaptaba mejor a las condiciones de temperatura de incubación. La preparación siguió los siguiente pasos:

- **Base nutricional:** se llevaron 400 ml de agua destilada a ebullición, en la que se disolvió un cubo de caldo de pollo. Este cubo de caldo sirvió como base nutricional para las bacterias a incubar.
  Tras la disolución del cubo, se añadieron agar-agar y gelatina a dos lotes de caldo, ambos disueltos en un vaso de precipitados con anterioridad. (véase figura 27)
  La mezcla de caldo y espesante se mantuvo en ebullición entre cinco y diez minutos, periodo que aparecía indicado en la guía para garantizar una esterilización adecuada del caldo de cultivo (véase figura 26).
- **Vertido de la mezcla en las placas esterilizadas:** una vez esterilizada, la mezcla se vertió sobre las placas Petri esterilizadas de forma previa (figura 28). Las placas llenas fueron cubiertas con sus tapas de vidrio correspondientes, también esterilizadas con anterioridad.







Figuras 26, 27 y 28: Proceso de preparación del caldo de cultivo.
Fuente: Elaboración propia

- **Solidificación en nevera:** las placas, tanto de agar-agar como gelatina, fueron depositadas en la nevera del laboratorio para asegurar su solidificación y evitar una posible contaminación.

3. Recolección de muestras y siembra de los cultivos bacterianos

Tras la preparación de las placas de cultivo, el siguiente paso consistió en la toma de muestras de fluido digestivo. Para ello, se esterilizaron cinco tubos de ensayo, unas pinzas metálicas y una pipeta siguiendo el método de ebullición indicado en el apartado anterior.

Tras su esterilización, todo el material se secó con fragmentos de gasa estéril para la consiguiente toma de muestras.

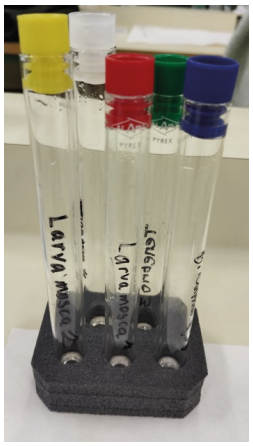


Figura 29: Muestras de fluido digestivo.
Fuente: Elaboración propia

El volumen de fluido tomado de cada espécimen fue de 2 ml, divididos entre la siembra sobre placas de agar y la siembra sobre placas con base de gelatina.

Las cinco muestras tomadas incluyeron una muestra del grupo de control (planta sin insectos), dos muestras del primer grupo experimental (plantas con larvas de *Hermetia illucens*) y dos muestras del segundo grupo experimental (plantas con larvas de *Tenebrio molitor*).

El proceso de siembra precisó de varios materiales: un mechero de gas o alcohol, un asa de siembra, las muestras de fluido digestivo, las placas de agar-agar y gelatina solidificadas y una cinta adhesiva de laboratorio conocida como Parafilm.

Se siguieron los siguientes pasos en el proceso de cultivo en cada una de las placas, tanto de agar-agar como de gelatina.

Esterilización del asa de siembra: el asa de siembra fue esterilizada por medio de la exposición de su superficie a una llama abierta.
Esta gran diferencia de temperatura sirvió para garantizar la completa esterilización del asa antes de sumergirla en las muestras de fluido digestivo.

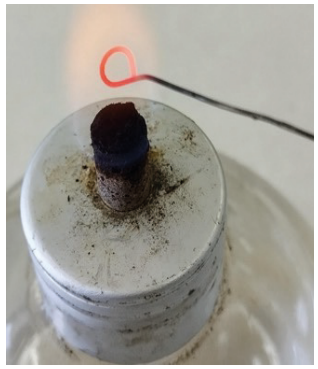


Figura 30: Esterilización del asa de siembra.
Fuente: Elaboración propia

Siembra de los cultivos bacterianos sobre las placas de agar-agar y gelatina: El asa de siembra esterilizada se sumergió en uno de los cinco tubos de ensayo durante unos segundos y se pasó por la superficie de las placas de agar-agar y gelatina dos veces en sentidos opuestos, cubriendo la mayor superficie posible.
Este proceso de siembra se repitió con las cuatro muestras de fluido digestivo restantes, sobre las placas de agar-agar y gelatina, siguiendo el mismo procedimiento en todas ellas. Se cultivaron 12 placas en total, divididas en los siguientes grupos:

- **Grupo de control ambiental:** las placas del grupo ambiental no fueron cultivadas directamente, sino que fueron expuestas al ambiente del laboratorio. Esto abrió la posibilidad de diferenciación entre las bacterias provenientes de una posible contaminación en el laboratorio y las bacterias provenientes del fitotelma de *Sarracenia purpurea*.
- **Grupo de control:** las placas del grupo de control fueron cultivadas con el fluido digestivo proveniente de la planta de control (conocida como planta 5 en el análisis de datos).
- **Primer grupo experimental *(Hermetia illucens)*:** las placas contenidas en este grupo fueron expuestas al fluido digestivo de las plantas 1 y 2, a las que se les proporcionaron larvas de mosca soldado negra *(Hermetia illucens)*.
- **Segundo grupo experimental *(Tenebrio molitor)*:** Las placas contenidas en el segundo grupo experimental fueron expuestas al fluido digestivo de las plantas 3 y 4, a las que se proporcionaron larvas de escarabajo molinero *(Tenebrio molitor)*.

Este proceso de siembra tuvo que ser repetido con posterioridad por la precipitación de condensación sobre los cultivos bacterianos.
El calor de las incubadoras derritió las placas de gelatina,

lo que sirvió para comprobar que el espesante más adecuado para cultivos bacterianos es, en efecto, el agar-agar (léase el punto 6).
Por otro lado, la condensación en las placas de agar-agar llevó a un desarrollo bacteriano desigual, lo que impidió un recuento fiable de las colonias cultivadas.
Se tomaron diferentes medidas tras la segunda preparación de las placas Petri, que incluyeron el enfriamiento de las placas a temperatura ambiente y la inversión de las mismas durante el proceso de incubación.
Invertir las placas evitó en gran medida la formación de condensación y su contacto con los cultivos, lo que proporcionó la oportunidad de llevar a cabo un recuento fiable.

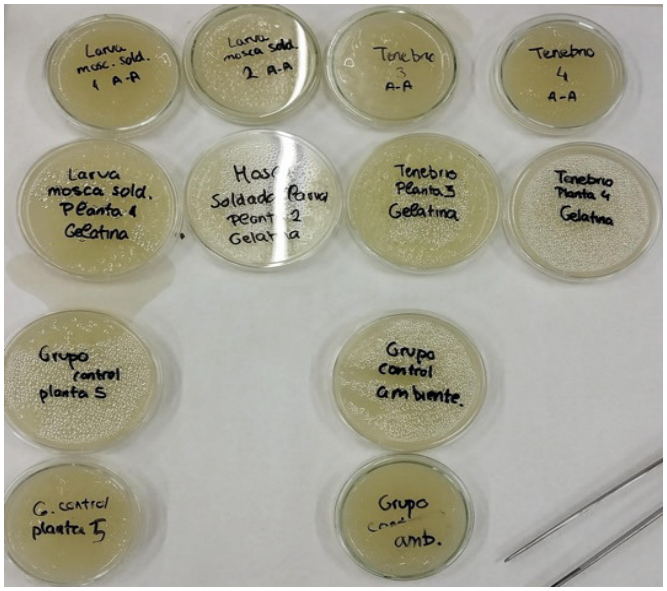


Figura 31: Placas de cultivo bacteriano categorizadas.
Fuente: Elaboración propia

9) RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS

Se tomaron dos tipos de datos para el tratamiento estadístico y la comprobación o rechazo de las hipótesis.

9.1 Análisis estadístico: Comprobación de la hipótesis principal.

El primer tipo de dato, relacionado a la hipótesis principal, fue el tamaño de las plantas, tanto en altura (medida en cm) como en número de trampas totalmente funcionales.

Los datos finales tomados (que indican el tamaño en cm) se ven en la siguiente tabla.

PLANTA 1 (M.SOLDADO)	PLANTA 2 (M.SOLDADO)	PLANTA 3 (E.MOLINERO)	PLANTA 4 (E.MOLINERO)	PLANTA 5 (GRUPO CONTROL)	NÚMERO TRAMPAS
8	11,5	11	7,2	9,3	1
10,3	8,8	8,7	7,5	8,9	2
9,4	12,2	8,5	11,5	15	3
9,2	14,3	10,2	11,4	14	4
6,5	13,3	8,6	7,9	11,5	5
8,5	8,6	10,4	9,5	12,6	6
7,8	8,7	10	11,3	12,4	7
9,1	11,3	11,5	8,1	12,7	8
9,7	11,6	13,2	9,8	10,8	9
6,2	6,7	13,8	9,8		10
5	8,5	11,8	8,3		11
		9,3	10,2		12
		8,9	9,1		13
		11,2	8,4		14
		11,4			15

Figura 32: Medidas de las trampas de *Sarracenia purpurea*.
Fuente: Elaboración propia

La casilla en color azul corresponde a una trampa que se hallaba en las etapas finales de su desarrollo en el momento del análisis estadístico, por lo que se tomó como funcional.

Este estudio toma en cuenta las trampas denominadas como funcionales, es decir, aquellas con un tamaño superior a cinco centímetros, suficiente como para digerir la presa proporcionada.

No obstante, el tratamiento estadístico no se realizó en base a la longitud de las trampas, ya que constituye un factor de origen genético, sino que se utilizó el número de nuevas trampas sintetizadas en cada uno de los especímenes de *Sarracenia purpurea* como variable numérica.

- **Planta 1** ***(Hermetia illucens)*****:** se sintetizaron tres trampas.
- **Planta 2** ***(Hermetia illucens)*****:** se sintetizaron cinco trampas.
- **Planta 3** ***(Tenebrio molitor):*** se sintetizaron tres trampas.
- **Planta 4** ***(Tenebrio molitor)*****:** se sintetizaron cuatro trampas.
- **Planta 5** ***(Grupo de control)*****:** se sintetizaron dos trampas.
- **Planta 6** ***(Grupo de control)*****:** este sujeto de estudio se marchitó por la presencia de moho en su rizoma. Por tanto, se tiene en cuenta que no sintetizó ninguna trampa con fines estadísticos.

La muestra trabajada está dividida en tres grupos, con seis observaciones en total. El método utilizado para su tratamiento estadístico fue la prueba H de Kruskal-Wallis,

como consecuencia del tamaño reducido de la muestra y la presencia de dos tipos de variables: numérica (número de trampas) y nominal (tipo de insecto).

La prueba de Kruskal-Wallis indica si existe una diferencia significativa entre los grupos analizados. En el caso de este proyecto, indicaría si los insectos tuvieron influencia en el crecimiento vegetal o en la concentración bacteriana.

Se establecen dos hipótesis dentro de la prueba:

- Hipótesis nula: no hay ninguna diferencia entre las medianas de los grupos analizados (X^2 mayor que H).
- Hipótesis alternativa: existe una diferencia entre al menos dos de los grupos analizados (X^2 menor que H).

Esta prueba asigna rangos a la variable numérica (en este caso, el número de trampas sintetizadas) y compara las sumas de los rangos de cada grupo (grupo de control, *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor*), siguiendo esta fórmula:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^{k} \frac{T_j^2}{n_j} - 3(N+1)$$

Figura 33: Fórmula para el cálculo del valor H. Fuente: Elaboración propia + software LaTeX

Donde *N* es el número de observaciones totales (seis en este caso, una por planta), k es el número de grupos y *T* es la suma de los rangos de cada grupo (véase figura 34). El grado de significancia usado para este tratamiento estadístico fue de $\alpha = 0{,}1$.

El valor H obtenido tras la aplicación de esta fórmula es un equivalente aproximado al obtenido tras la aplicación de la prueba Chi Cuadrado, lo que permite llegar a conclusiones tras la obtención del valor crítico correspondiente.

Los datos usados para el cálculo del valor H se ven reflejados en la siguiente tabla:

GRUPOS (N=6)	VARIABLES	TRAMPAS SINTETIZADAS	RANGOS	SUMA DE LOS RANGOS
GRUPO DE CONTROL	A	2	2	3
GRUPO DE CONTROL	A	0	1	3
TENEBRIO MOLITOR	B	3	3,5	8,5
TENEBRIO MOLITOR	B	4	5	8,5
HERMETIA ILLUCENS	C	3	3,5	9,5
HERMETIA ILLUCENS	C	5	6	9,5

Figura 34: Datos para la prueba de Kruskal-Wallis. Fuente: Elaboración propia.

Los rangos se asignan en orden creciente desde el menor valor de la muestra al mayor contenido dentro de la misma. El 1 es asignado al menor valor de la muestra.

Dentro de estos rangos, los valores 3,5 se dan como resultados del empate en el número de trampas sintetizadas entre dos de los sujetos de estudio (son una consecuencia de la media aritmética entre los rangos 3 y 4).

Un empate mantenido hubiera resultado en un valor H ligeramente menos preciso.

El cálculo de este valor se llevó a cabo de acuerdo a la figura 35.

$$\begin{aligned} H &= \left[\frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^{k} \frac{T_j^2}{n_j}\right] - 3(N+1) \\ &= \left[\frac{12}{6(6+1)} \left(\frac{(3)^2}{2} + \frac{(8.5)^2}{2} + \frac{(9.5)^2}{2}\right)\right] - 3(6+1) \\ &= \left[\frac{12}{42} \cdot 85.75\right] - 21 \\ &= 24.5 - 21 \\ &= 3.5 \end{aligned}$$

Figura 35: Cálculo del valor H en el crecimiento vegetal. Fuente: Elaboración propia + software LaTeX

Se necesitaron dos parámetros adicionales para la comprobación de la hipótesis principal: los grados de libertad y el correspondiente valor crítico de X^2.

Los grados de libertad se obtienen restando 1 al número total de grupos presentes en la muestra. En este caso, al disponer de tres grupos, se obtuvieron dos grados de libertad.

Por otro lado, el valor crítico se obtiene consultando una tabla especializada, haciendo referencia al grado de significancia y a los grados de libertad.

Se obtuvo un valor crítico de 4,605, mayor que la H obtenida en el test de Kruskal-Wallis.

Por tanto, al ser $4{,}605 > 3{,}5$, se puede afirmar que la hipótesis nula (no hay ninguna diferencia entre los grupos) no se descarta. Esto se traduce en el rechazo estadístico de la hipótesis principal.

No obstante, aunque el análisis estadístico reportó un rechazo en esta hipótesis, se pudo observar una ligera tendencia a un mayor crecimiento en las plantas alimentadas con insectos.

Esta tendencia, aunque relevante, no se pudo corroborar ni generalizar por el limitado tamaño de la muestra (principalmente debida a una importante limitación económica). Una mayor muestra, además, hubiera supuesto una complejidad mayor a la hora de los cuidados básicos.

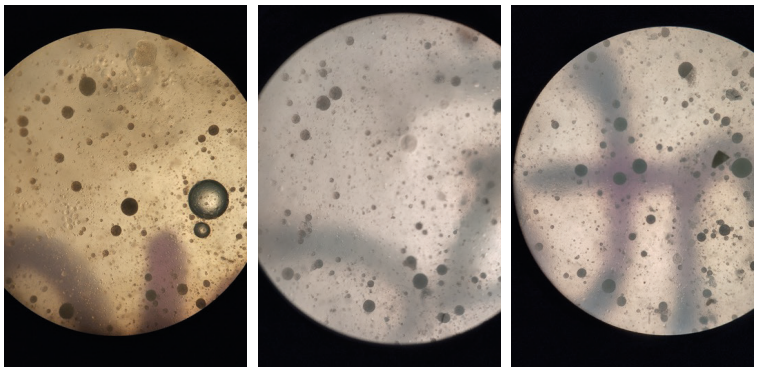
9.2 Análisis estadístico: Comprobación de la hipótesis secundaria.

La hipótesis secundaria comprendió la influencia de los insectos proporcionados a los sujetos de estudio en la concentración bacteriana. Al igual que con la hipótesis principal, se consideró hacer uso de la prueba H de Kruskal-Wallis para comprobar la veracidad de la hipótesis.

Sin embargo, los datos de la concentración bacteriana no pudieron ser considerados útiles debido a una complicación en la incubación.

El caldo de cultivo se preparó siguiendo una receta de uso general, sin reparar en la posible especificidad de las bacterias huésped en *Sarracenia purpurea*, habituadas a ambientes con un pH bajo (medios ácidos). Las características generales del caldo de cultivo impidieron un correcto crecimiento de las colonias que debían ser aisladas.

Esto provocó la proliferación de las bacterias características del laboratorio en lugar de las bacterias presentes en el fluido de *Sarracenia purpurea*. Como se puede observar en las siguientes figuras, las colonias bacterianas (estructuras circulares de color verdoso) encontradas en las placas asignadas a los grupos *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor* no difieren en absoluto de las halladas en la placa de control ambiental, lo que lleva a la conclusión de que las bacterias simbióticas no sobrevivieron a las condiciones establecidas durante la incubación.



Figuras 36, 37 y 38: Cultivos bacterianos vistos bajo una lupa de laboratorio (Control ambiental, *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor*, respectivamente) Fuente: Elaboración propia

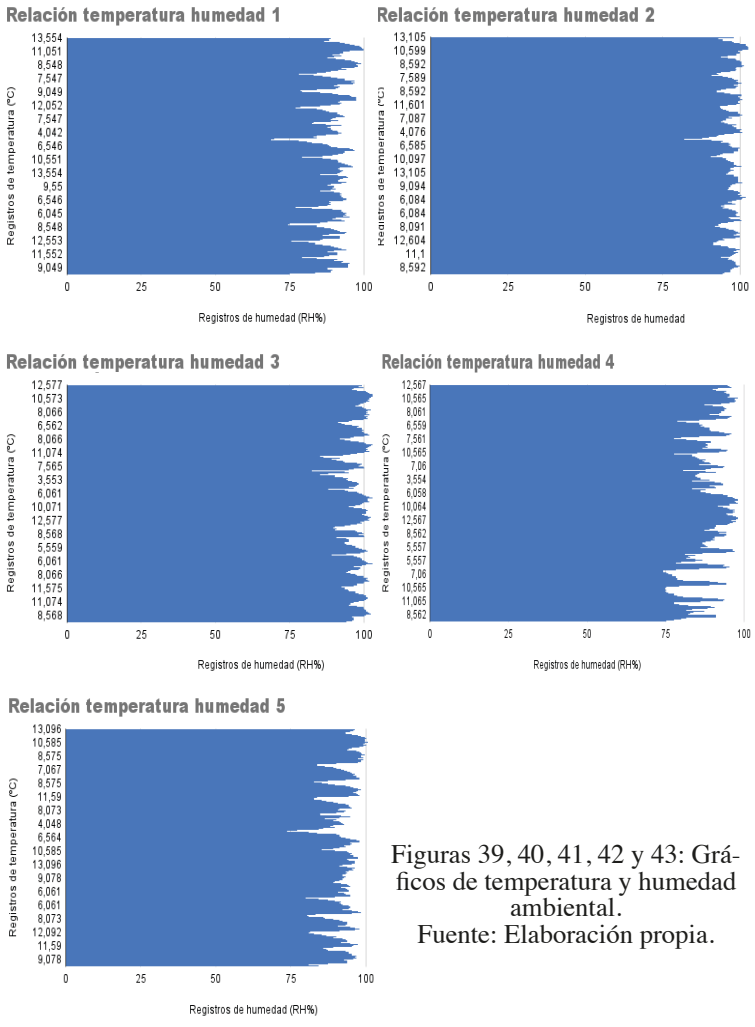
Este inconveniente en los cultivos bacterianos llevó a la incapacidad para verificar la hipótesis secundaria, que estaba fundamentada en la influencia de dichos microorganismos simbióticos dentro de las trampas de la planta jarra púrpura.

9.3 Variables fijas: Seguimiento de la temperatura y humedad ambiental.

Las variables de temperatura y humedad fueron monitoreadas durante todo el mes de noviembre, lo que permitió obtener miles de datos relacionados a dichas variables, gracias a la ayuda de los higrómetros iButton.

Dichos datos se repartieron en cinco gráficos con fines comparativos entre sí. Tras su interpretación, se pudo observar que, a grandes rasgos, las condiciones base fijadas para los especímenes fluctuaron de manera similar en cada uno de los mismos.

Las siguiente figuras relacionan las magnitudes de humedad y temperatura, con los datos obtenidos por cada uno de los higrómetros. Cada uno de los iButton estuvo dispuesto sobre el sustrato de una planta.



Figuras 39, 40, 41, 42 y 43: Gráficos de temperatura y humedad ambiental.
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en los gráficos adjuntos, los niveles de humedad se mantuvieron en todo momento por encima del 70% de humedad ambiental, lo que permitió recrear de forma fiel los altos niveles de humedad presentes en los pantanos de dónde es endémica *Sarracenia purpurea* (léase el punto 7.4.1 para un explicación exhaustiva).

Por otro lado, la temperatura se mantuvo de forma constante alrededor de un valor de 8,9013 ºC (véase la figura 44 en los anexos), dentro del rango acorde al hábitat natural de la planta.

La realización de estas gráficas y tabla supuso la confirmación de que se pudo brindar unas condiciones adecuadas a los sujetos de estudio durante toda la segunda fase experimental.

10) CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS

Tras el análisis realizado en base a los datos obtenidos, se pudieron obtener tres conclusiones:

- La temperatura y humedad ambientales se mantuvieron en todo momento en un umbral similar al del hábitat natural de *Sarracenia purpurea*. Esto supuso que el crecimiento observado no pudo haber sido resultado de fluctuaciones en los parámetros de temperatura y humedad.
- Se observó una tendencia a un mayor crecimiento en las plantas a las que se suministraron insectos con respecto al grupo de control. Es decir, se observó una mayor síntesis de trampas en aquellos sujetos de estudio a los que se añadieron larvas de *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor*.
- La metodología adoptada permitió la realización de cultivos bacterianos exitosos. Si bien este crecimiento resultó idéntico en todas las placas, el proceso de cultivo fue llevado a cabo de forma exitosa en el ambiente escolar.

No obstante, aunque la tendencia de crecimiento es relevante, el pequeño tamaño de la muestra no permitió llegar a una conclusión estadísticamente significativa. Por tanto, la hipótesis principal se ve rechazada en favor de la hipótesis nula del test de Kruskal-Wallis (no existe ninguna diferencia entre los grupos) por motivos relacionados al tamaño de la muestra.

Por otro lado, los datos obtenidos de los cultivos bacterianos no permitieron extraer una conclusión firme que rechazase o verificase la hipótesis secundaria. Los cultivos bacterianos sólo incluyeron bacterias ambientales, en lugar de las bacterias simbióticas que se deseó aislar.

11) DIFICULTADES

El transcurso de este proyecto de investigación estuvo marcado por cinco aspectos que hicieron de la investigación un proceso desafiante.

La primera de ellas fue la ausencia de luz directa y mantenida en el ámbito escolar, precisamente en el laboratorio de biología del centro.

Esto, sumado a las altas temperaturas del verano de 2025, desembocó en daños graves en los dos primeros especímenes de *Sarracenia purpurea*. Estos daños fueron parcialmente solventados por medio de la adquisición de una lámpara LED.

La segunda de ellas fue la disminución del tiempo experimental por el retraso en la adquisición de los seis sujetos de estudio de la segunda fase, el sustrato y las larvas utilizadas en dicha etapa.

Sin embargo, esta dificultad fue inevitable, ya que al ser una compra en línea, no se pudo controlar su fecha de entrega.

La tercera dificultad, y la más influyente de todas, fue la pérdida de uno de los sujetos de estudio por un hongo. Esta planta formaba parte del grupo de control, lo que forzó a tomar como cero el número de trampas sintetizadas por el espécimen fallecido a la hora del tratamiento estadístico.

La cuarta dificultad radicó en la repetición del cultivo bacteriano tras la aparición de condensación sobre los primeros cultivos realizados. Esta condensación precipitó sobre los cultivos, diluyéndolos. Se tomó la decisión de repetir el proceso para conseguir un crecimiento bacteriano adecuado y medible, lo que restó tiempo al periodo de incubación.

La última dificultad se encontró en los resultados de la incubación bacteriana. No se encontraron diferencias entre las colonias observadas en el grupo de control ambiente y aquellas halladas en las demás placas. La presencia exclusiva de las bacterias ambiental se vió relacionada a la receta utilizada para el caldo de cultivo, que estaba ajustada a la falta del material de laboratorio óptimo.

Esto llevó a la conclusión de que las únicas bacterias que sobrevivieron al periodo de incubación fueron aquellas presentes en el laboratorio, y no las encontradas en el fluido digestivo de *Sarracenia purpurea*.

12) PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- Uso de plantas carnívoras como método natural de control de plagas.
- Estudio de la influencia de la calidad del aire en el rocío de sol de hoja redonda *(Drosera rotundifolia)*, presenteen la Sierra de Guadarrama.
- Estudio de la influencia de la composición química del sustrato sobre el pino rocío *(Drosophyllum lusitanicum)*, especie endémica del suroeste de la Península Ibérica.
- Estudio de la influencia de la presencia de agentes químicos en cauces fluviales sobre el desarrollo de *Utricularia minor*, especie de planta carnívora semi acuática presente en la Sierra de Guadarrama.

13) GLOSARIO:

Definición de conceptos del marco teórico y desarrollo experimental.

- **Adenosín-trifosfato:** molécula de carácter energético. Es la base energética de cualquier organismo. Conocida bajo las siglas ATP.
- **Aminoácidos:** moléculas que componen las proteínas. Son monómeros, moléculas simples que se agrupan en una de mayor complejidad.
- **Autotrofismo:** modelo nutricional basado en la obtención de nutrientes a partir de materia inorgánica (agua, sales minerales, luz solar, compuestos químicos inorgánicos).
- **Biopolímero:** conjunto de moléculas simples con una función biológica determinada.
- **Coenzima:** molécula diferente a una proteína que se une a una enzima con el fin de activarla. Pueden ser de carácter orgánico, con ejemplos como el FAD, NAD o NADP, o de carácter inorgánico, llamadas cofactores (magnesio, hierro o cobalto).
- ***Drivers:*** son programas informáticos que actúan como intermediarios entre el sistema físico del ordenador (hardware) y el programa objetivo. También se conocen como controladores.
- **Enzima:** proteína que acelera reacciones químicas (tienen función catalítica). Las enzimas digestivas catalizan los procesos de descomposición de moléculas complejas en moléculas simples. Un ejemplo son las proteasas, que degradan proteínas en aminoácidos.
- **FAD y NAD:** coenzimas derivadas de vitaminas del grupo B. Se denominan flavín-adenín dinucleótido y dinucleótido de nicotinamida y adenina, respectivamente. Tienen formas oxidadas, conocidas como NADH y $FADH_2$.
- **Fenotipo / Fenotípicas:** se conoce como fenotipo a la variedad de características visibles resultado de la genética de un individuo.
- **Glúcidos:** grupo de nutrientes conocidos comúnmente como hidratos de carbono o carbohidratos, compuestos por carbono, hidrógeno y oxígeno, con función energética y estructural. Algunos de los más reconocidos son la celulosa (principal componente del papel) y el almidón (en semillas y raíces).
- **Heterotrofismo:** modelo nutricional basado en la obtención de nutrientes a partir de otros seres vivos.
- **Metamorfosis:** se dice del paso del estado larvario al estado adulto en una gran variedad de seres vivos, como insectos o anfibios. Un ejemplo son los anfibios anuros, que pasan de huevo a estado larvario (renacuajo), y de estado larvario a adulto (rana o sapo).
- **Molécula:** se dice de un conjunto de átomos unidos mediante diferentes tipos de enlaces. También se conocen como compuestos químicos.
- **Moléculas oxidorreductoras:** aquellos compuestos químicos involucrados en reacciones REDOX (reducción-oxidación). Estas reacciones consisten en la pérdida u obtención de electrones.
- **Monosacárido:** tipo de glúcido que forma moléculas más complejas conocidas como polisacáridos. Los ejemplos más conocidos son la glucosa y la fructosa.
- **Néctar:** líquido viscoso rico en glucosa que las plantas usan como método para atraer insectos polinizadores o presa (en el caso de *Sarracenia purpurea*).
- **Orgánulo:** estructura interna de una célula con función específica.
- **Simbiosis:** relación entre dos seres vivos que resulta beneficiosa para ambos. También se conoce como mutualismo.
- **Sustrato:** sinónimo de suelo en el ámbito botánico.

14) BIBLIOGRAFÍA/WEBGRAFÍA

- Adamec, L. (2010). Ecophysiological Look at Plant Carnivory. Cellular origin and life in extreme habitats (pp. 455-489). https://doi.org/10.1007/978-90-481-9316-5_21/
- Adlassnig, W., Peroutka, M., & Lendl, T. (2010). Traps of carnivorous pitcher plants as a habitat: composition of the fluid, biodiversity and mutualistic activities. *Annals Of Botany*, 107(2), 181-194. https://doi.org/10.1093/aob/mcq238
- Bennett, K. F., & Ellison, A. M. (2009). Nectar, not colour, may lure insects to their death. *Biology Letters*, 5(4), 469-472. https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0161
- Cipollini, D. F., Newell, S. J., & Nastase, A. J. (1994). Total Carbohydrates in Nectar of Sarracenia purpurea L. (Northern Pitcher Plant). *The American Midland Naturalist*, 131(2), 374. https://doi.org/10.2307/2426265
- Cortizas, A. M., Pombal, X. P., Muñoz, J. C. N., Fernández, R. R., & López-Sáez, J. A. (2009). Turberas ácidas de esfagnos. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. *Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino*. jolube.net/Habitat_Espana/documentos/71.pdf
- De Las Rivas, J. (2000). La luz y el aparato fotosintético. Fundamentos de Fisiología Vegetal. *AZCÓN BIETO J*, 131-153. https://n9.cl/ia1bg
- Docktyz, C., Hillabrand, R., Ilar, J., Yragui, A. (2011). Abiotic and biotic influence (pH, total nitrogen, insect biomass, and light intensity) on northern pitcher plant (Sarracenia purpurea) distribution at UMBS sites. backend.production.deepblue-documents.lib.umich.edu/server/api/core/bitstreams/9fe81ffa-6d3f-43ac-ae8a-e82d88792b8c/content
- Duno de Stefano, R., & Can, L. L. (2023). Dime qué comes y te diré quién eres: la dieta de las plantas carnívoras. *Desde El Herbario CICY*, 15, 69–73. http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/2023
- Ellison, A. M., & Gotelli, N. J. (2002). Nitrogen availability alters the expression of carnivory in the northern pitcher plant, Sarracenia purpurea. *Proceedings of The National Academy of Sciences*, 99(7), 4409-4412. https://doi.org/10.1073/pnas.022057199
- Ellison, A. M., Buckley, H. L., Miller, T. E., & Gotelli, N. J. (2004). Morphological variation in Sarracenia purpurea (Sarraceniaceae): geographic, environmental, and taxonomic correlates. *American Journal Of Botany*, 91(11), 1930-1935. https://doi.org/10.3732/ajb.91.11.1930
- Ellison, A. M., Butler, E. D., Hicks, E. J., Naczi, R. F. C., Calie, P. J., Bell, C. D., & Davis, C. C. (2012). Phylogeny and Biogeography of the Carnivorous Plant Family Sarraceniaceae. *PLoS ONE*, 7(6). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039291
- Gray, S. M., Akob, D. M., Green, S. J., & Kostka, J. E. (2012). The Bacterial Composition within the Sarracenia purpurea Model System: Local Scale Differences and the Relationship with the Other Members of the Food Web. *PLoS ONE*, 7(12), https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050969
- Judge, A., & Dodd, M. S. (2020). Metabolism. *Essays In Biochemistry*, 64(4), 607-647. https://doi.org/10.1042/ebc20190041
- Jürgens, A., El-Sayed, A. M., & Suckling, D. M. (2009). Do carnivorous plants use volatiles for attracting prey insects? *Functional Ecology*, 23(5), 875-887. https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01626.x
- Keegstra, K. (2010). Plant cell walls. *PLANT PHYSIOLOGY*, 154(2), 483-486. pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2949028/pdf/483.pdf
- Kirchhoff, H. (2019). Chloroplast ultrastructure in plants. *New Phytologist*, 223(2), 565-574. https://doi.org/10.1111/nph.15730
- Koller-Peroutka, M., Krammer, S., Pavlik, A., Edlinger, M., Lang, I., & Adlassnig, W. (2019). Endocytosis and Digestion in Carnivorous Pitcher Plants of the Family Sarraceniaceae. Plants, 8(10), 367. https://doi.org/10.3390/plants8100367
- McClenaghan, E. (2024). The Kruskal–Wallis Test. *Informatics From Technology Networks*. https://www.technologynetworks.com/informatics/articles/the-kruskal-wallis-test-370025
- Mithöfer, A. (2022). Carnivorous plants and their biotic interactions. *Journal Of Plant Interactions*, 17(1), 333-343. https://doi.org/10.1080/17429145.2022.2038710
- Mouquet, N., Daufresne, T., Gray, S. M., & Miller, T. E. (2008). Modelling the Relationship between a Pitcher Plant (Sarracenia purpurea) and Its Phytotelma Community: Mutualism or Parasitism? *Functional Ecology*, 22(4), 728–737. http://www.jstor.org/stable/20142863
- Nolan, K. (2015) A comparative study of carnivorous leaves in the genus Sarracenia. *Master's Theses and Doctoral Dissertations*. https://commons.emich.edu/theses/638
- Pérez-Atilano, Y., Reyes-Silva, J. A., López-Soto, D., Huerta-Pioquinto, A., & Hernández-Atilano, A. (2023). Reino Plantae: Características y clasificación. *Uno Sapiens Boletín Científico De La Escuela Preparatoria No. 1*, 5(10), 8-10. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa1/article/view/10385
- Ricardo, R. (2020). *FADH2 y NADH: Definición y descripción general*. Estudyando. https://estudyando.com/fadh2-y-nadh-definicion-y-descripcion-general/
- Segura, L. (2021). La nutrición en los seres vivos. Concepto de nutrición, tipos de nutrición. Metabolismo. *Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle*. https://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/9865

- Sheridan, P. M., & Griesbach, R. J. (2001). Anthocyanidins of Sarracenia L. flowers and leaves. *Hortscience*, 36(2), 384-384. pitcherplant.org/Papers/Anthocyanidins-of-Sarracenia-L-Flowers-and-Leaves.pdf
- Zavala, M. S., López, D. E. P., Leyva, B. C., Pereda, V. S., & López, V. H. M. (2025). Compuestos bioinorgánicos fundamentales: Cianocobalamina, hemoglobina y clorofila. Fundamental bioinorganic compounds: cyanocobalamin, hemoglobin and chlorophyll. *Xahni Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 6.*, 2(4), 32-37. https://doi.org/10.29057/xahni.v2i4.14096

15) ANEXOS

Este epígrafe contiene información adicional relacionada al desarrollo experimental y al análisis de los datos obtenidos del mismo.

	Temperatura	Humedad
HIGRÓMETRO 1	9,03609668	90,710625
HIGRÓMETRO 2	8,448179443	86,57396606
HIGRÓMETRO 3	8,624544678	96,1798186
HIGRÓMETRO 4	9,006016602	95,89725342
HIGRÓMETRO 5	9,391580322	87,85503687
Medias totales	8,901283545	91,44333999

Figura 44: Tabla de valores medios. Fuente: Elaboración propia

Escanee estos códigos QR para obtener acceso a las tablas de temperatura y humedad completas, resultado del uso de los iButtons.

Fuente de la receta de caldo de cultivo: el caldo de cultivo fue preparado de acuerdo a la siguiente guía (léase el punto 'Análisis microbiológico: toma de muestras, siembra e incubación' de la sección de Metodología): Ficha 14. Preparación casera de medio de cultivo solido para microorganismos – Encuentros con la Ciencia

El papel de las proteínas en el rendimiento deportivo:

Análisis del consumo de proteína proveniente de fuentes vegetales y animales en tres disciplinas deportivas diferentes.

Emma Cantos Millán

Tutor: Daniel Capote Gómez

AGRADECIMIENTOS

Primero de todo quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor, Daniel Capote, por su apoyo, confianza, orientación y sus valiosas sugerencias, que permitieron estructurar y mejorar el proyecto durante todo su desarrollo.

Agradezco también profundamente a mi tía, Paloma Cantos, quien hizo despertar mi curiosidad por la relación entre proteína vegetal y rendimiento deportivo. Su ayuda y guía no solo hicieron que surgiera y se desarrollara la idea, sino también que pudiera llevarla adelante hasta concretarla.

Asimismo, deseo agradecer a Sonia Conde, nutricionista, corredora y deportista de crossfit, Daniel Pérez, ciclista de élite, y Elena Armada, nutricionista y deportista de crossfit, por ser ejemplo de esfuerzo y disciplina. Sus experiencias y conocimientos me hicieron comprender la importancia de la alimentación y el entrenamiento en sus deportes.

Quisiera extender mi gratitud a todos los deportistas partícipes de este proyecto, incluidos familiares, conocidos y demás participantes. Gracias por vuestra ayuda, por compartir vuestras experiencias y colaborar para hacer este trabajo posible.

Por último, a mis padres, gracias por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional a lo largo de cada etapa del proceso.

Sin vosotros, este proyecto no habría sido posible.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....108
2. ABSTRACT.....108
3. INTRODUCCIÓN.....109
4. JUSTIFICACIÓN.....110
5. OBJETIVOS.....111
6. METODOLOGÍA.....111
6.1 Diseño del estudio.....111
6.2 Participantes.....113
7. MARCO TEÓRICO.....114
7.1 Los aminoácidos.....114
7.2 Funciones de las proteínas en el deporte.....114
7.3 Proteínas de origen animal.....115
7.3.1 Carnes.....115
7.3.2 Huevo.....115
7.3.3 Lácteos.....115
7.3.4 Pescados.....115
7.3.5 Beneficios nutricionales.....116
7.4 Proteínas de origen vegetal.....116
7.4.1 Legumbres.....116
7.4.2 Cereales.....116
7.4.3 Frutos secos y semillas.....116
7.4.4 Beneficios nutricionales.....117
7.5 Tipos de dietas.....117
7.5.1 Veganismo y vegetarianismo.....117
7.5.2 Cetogénica.....118
7.5.3 Carnívora.....119
7.6 Deporte y consumo de proteína.....119
7.6.1 Rendimiento deportivo.....119
7.6.2 Fatiga y recuperación muscular.....120
7.6.3 Ciclismo de ruta.....121
7.6.4 CrossFit.....121
7.6.5 Carrera de larga distancia.....122
8. HIPÓTESIS.....123
9. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS.....123
9.1 Análisis estadístico.....124
10. DISCUSIÓN.....126
11. CONCLUSIONES.....128
12. DIFICULTADES ENCONTRADAS.....128
13. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....129
14. GLOSARIO.....129
15. BIBLIOGRAFÍA.....129
16. ANEXOS.....129

1. RESUMEN

En la actualidad, resulta cada vez más evidente la tendencia de la sociedad a incorporar en su dieta proteínas y suplementos proteicos de diversas fuentes, reflejando una transformación significativa en los patrones y hábitos alimentarios modificando la nutrición deportiva. Este estudio tiene cómo objetivo principal analizar cómo los patrones de consumo proteico (exclusivamente animal, exclusivamente vegetal o mixto) afectan variables clave del rendimiento deportivo: carga de entrenamiento soportada, fatiga post-ejercicio y capacidad de recuperación, en deportistas de alto nivel de disciplinas de resistencia aeróbica y fuerza/potencia, cómo CrossFit, ciclismo y maratón.

Se empleó un diseño mixto realizado mediante una toma de datos en un momento puntual que contó con una muestra de 159 deportistas de alto nivel para identificar hábitos de consumo proteico, modalidad deportiva y contexto de entrenamiento. Posteriormente, con una selección de deportistas de cada modalidad y con diferentes hábitos de consumo proteico, se realizó una segunda toma de datos mediante un diario para registrar ingestas diarias, entrenamiento y percepción subjetiva de fatiga (evaluada con escala EVA) durante siete días consecutivos de entrenamiento. Los datos fueron analizados mediante pruebas de chi-cuadrado para identificar asociaciones significativas.

Se prevé que combinar proteínas de distintos orígenes mejore la tolerancia al entrenamiento, reduzca la fatiga y favorezca la recuperación frente al consumo exclusivo de proteínas vegetales de manera diferente según la modalidad deportiva practicada. Se espera que en los deportes que requieren mayor implicación del sistema muscular, esa capacidad se vea más mermada por el consumo de proteína aislada respecto a las modalidades en las que la implicación del sistema muscular es menor; y además, poder así confirmar variaciones en la respuesta individual que permitan orientar recomendaciones nutricionales específicas para cada disciplina.

Los resultados encontrados indican que el patrón de consumo proteico puede influir significativamente en el rendimiento deportivo y la recuperación muscular en deportistas con variaciones específicas según la disciplina practicada. El consumo exclusivo de proteína vegetal favorece la recuperación en deportes de resistencia mientras que la mixta reduce la fatiga. Por otro lado, en CrossFit, el consumo de proteína proveniente de fuentes aisladas, ya sea animal o vegetal, permite soportar mayor carga muscular. Estos hallazgos resaltan la importancia de adaptar las estrategias nutricionales al tipo de deporte para optimizar la carga de entrenamiento soportada y mitigar la fatiga post-ejercicio. Futuras investigaciones deberán profundizar en cómo personalizar las recomendaciones de consumo de proteína según los patrones de ingesta para optimizar el entrenamiento y la salud de los atletas a largo plazo.

Palabras clave: Consumo proteico, rendimiento deportivo, fatiga post-ejercicio, recuperación muscular, nutrición deportiva, deportistas de alto nivel.

2. ABSTRACT

Currently, it is increasingly evident that society tends to incorporate proteins and protein supplements from various sources into their diet, reflecting a significant transformation in dietary patterns and habits, modifying sports nutrition. The main objective of this study is to analyze how protein consumption patterns (exclusively animal, exclusively plant-based, or mixed) affect key variables of sports performance: supported training load, post-exercise fatigue, and recovery capacity, in high-level athletes of aerobic endurance and strength/power disciplines, such as CrossFit, cycling, and marathon.

A mixed design was used, carried out through data collection at a specific point in time, which included a sample of 159 high-level athletes to identify protein consumption habits, sport modality, and training context. Subsequently, with a selection of athletes from each modality and with different protein consumption habits, a second data collection was carried out through a diary to record daily intakes, training and subjective perception of fatigue (evaluated with a VAS scale) during seven consecutive days of training. The data were analyzed using chi-square tests to identify significant associations.

It is predicted that the combination of proteins from different origins will improve training tolerance, reduce fatigue, and favor recovery compared to the exclusive consumption of plant-based proteins, differently depending on the sport discipline practiced. It is expected that, in sports that requi-

re greater involvement of the muscular system, this capacity will be more diminished by the consumption of isolated protein compared to modalities in which the involvement of the muscular system is less; and, furthermore, to be able to confirm variations in the individual response that allow for specific nutritional recommendations for each discipline.The results found indicate that the protein consumption pattern can significantly influence sports performance and muscle recovery in athletes, with specific variations depending on the discipline practiced. The exclusive consumption of plant-based protein favors recovery in endurance sports, while mixed consumption reduces fatigue. On the other hand, in CrossFit, the consumption of protein from isolated sources, whether animal or plant-based, allows for a greater muscular load to be supported. These findings highlight the importance of adapting nutritional strategies to the type of sport to optimize the supported training load and mitigate post-exercise fatigue. Future research should delve into how to personalize protein consumption recommendations according to intake patterns to optimize training and long-term health of the athletes.
Key words: Protein consumption, sports performance, post-exercise fatigue, muscle recovery, sports nutrition, high-level athletes.

3. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las personas optan por consumir proteínas de origen animal o vegetal, tal y como señala Domingo Ajenjo (2021) , quien indica que dicha elección puede deberse a diversos motivos, entre ellos la preocupación por la salud y el bienestar, la protección del medio ambiente, la justicia social o la preservación de la fauna.

En primer lugar, es importante explicar que las proteínas son macromoléculas esenciales formadas por largas cadenas de aminoácidos, que participan en la estructura y el funcionamiento del organismo, ya que intervienen en la creación, reparación y mantenimiento de tejidos, constituyen la base de los epitelios durante el crecimiento y desarrollo, y cumplen funciones metabólicas clave como enzimas, hormonas y anticuerpos, además de intervenir en la asimilación y transporte de nutrientes, oxígeno y lípidos (Martínez A & Martínez V Muñoz, 2006; González-Torres et al., 2007). Junto a los carbohidratos y las grasas, reciben la denominación de macronutrientes, que son los nutrientes que el organismo necesita en grandes cantidades debido a las funciones que cumplen en nuestro organismo, como el aporte de energía.

Por consiguiente, desde el punto de vista nutricional, la proteína es un macronutriente que está presente en los alimentos y su importancia en la dieta se debe a su capacidad de aportar aminoácidos para atender al mantenimiento de la proteína corporal y al incremento de ésta durante el crecimiento. Su ingesta estimula la síntesis de proteína del músculo esquelético (López-Martínez et al., 2022). Churchward-Venne et al. (2020) observaron que la respuesta de síntesis de proteína muscular se establece, en gran medida, por la composición de aminoácidos de la proteína, la cantidad que se ingiere y cómo se digieren y absorben dichas proteínas.

Estas macromoléculas pueden obtenerse también mediante suplementos, utilizados tanto para la recuperación muscular como para complementar dietas deficientes en proteínas y satisfacer las altas demandas proteicas de la nutrición deportiva. No obstante, Sèrgio (2014) y Vidal et al. (2024) señalan que un uso inadecuado o excesivo, especialmente sin orientación profesional, puede ser perjudicial y provocar efectos adversos como trastornos gastrointestinales, insomnio, cefaleas o arritmias. Aun así, muchos deportistas recurren a estos productos para mantener y reparar tejidos, aportar energía adecuada y regular el metabolismo, consumiéndolos antes, durante o incluso de forma habitual a lo largo de los años (Oliver, 2017).

Centrándonos en la alimentación, es cierto que la proteína animal es una importante fuente de nutrientes por su gran valor biológico, por el zinc, el hierro hemínico, esencial para la formación de hemoglobina, y la vitamina B12 (Cristian Del Bo' et al., 2024). No obstante, un consumo excesivo de carne roja y procesada puede aumentar el riesgo de enfermedades cardiovasculares, inflamación gástrica y ciertos tipos de cáncer, debido a la presencia de grasas saturadas, proteínas como la mioglobina y compuestos químicos carcinógenos generados durante el procesamiento, como nitrosaminas, aminas heterocíclicas o hidrocarburos aromáticos policíclicos (Núñez, 2018; Petermann et al., 2018; Retuerto Griessner et al., 2021).

Por su parte, la proteína de origen vegetal, aunque no contiene todos los aminoácidos esenciales de forma individual, puede satisfacer las necesidades nutricionales si se combina adecuadamente. Además, se conoce que las dietas fundamentadas en proteína vegetal poseen menor cantidad de grasas saturadas y azúcares, tienen menor densidad energética, influenciada por factores como la composición de macronutrientes, el contenido de agua y la fibra de los alimentos. Por otro lado, su producción implica un menor impacto medioambiental, lo que refuerza la necesidad de avanzar en el desarrollo de productos vegetales que ofrezcan un aporte nutricional completo comparable al de la proteína animal, tal y como vienen señalando en la reciente investigación autores como Dayana Quesada & Georgina Gómez (2019).

En cuanto al ámbito deportivo, una adecuada alimentación resulta fundamental para optimizar el rendimiento y favorecer la recuperación muscular en deportistas de élite, quienes enfrentan una elevada exigencia física y nutricional. Además, tienen un alto riesgo de daño muscular y fatiga debido a entrenamientos prolongados de alta intensidad sin tener en cuenta los tiempos de recuperación (Sheridan & Tonso, 2024). De ahí que sea esencial llevar a cabo una alimentación y nutrición óptima para mantener el rendimiento al máximo y minimizar los efectos adversos tanto físicos como psicológicos derivados del ejercicio intenso.

Debido al lenguaje específico empleado para definir algunos términos, cuya explicación resulta necesaria para la comprensión de este proyecto, se ha incluido un glosario que se puede consultar en la página 72.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo adopta un enfoque focalizado en el ámbito deportivo motivado por un interés personal hacia la práctica del deporte a lo largo de mi vida. La idea de realizar este proyecto surge a partir de un creciente interés por la relación entre el consumo de proteínas de origen vegetal, la actividad física y el rendimiento deportivo, una inquietud que fue inicialmente estimulada por los hábitos alimentarios de un miembro de mi entorno familiar que también es participante en competiciones deportivas. En este contexto, se reconoce que para aspirar a un rendimiento óptimo y obtener resultados significativos, es fundamental llevar y mantener en el tiempo una alimentación adecuada, especialmente en algunas disciplinas deportivas que ponen mayor énfasis en lo referente al consumo de proteínas. Por ejemplo, el CrossFit tiene una alta demanda proteica debido a la combinación de ejercicios de fuerza con carga y de resistencia muscular.

Análisis como los de Dayana Quesada & Georgina Gómez (2019), Alvarado (2021) y Ewy (2022) han reflejado el creciente aumento de la ingesta de proteína vegetal frente a la animal, señalando como posibles causas la preocupación por el medioambiente, el costo que conlleva producir carne animal o las posibles consecuencias que produce la ingesta de carne a la larga en las personas. A pesar de ello, aún hay controversia sobre si las proteínas de fuente vegetal pueden asegurar una correcta obtención de aminoácidos y un rendimiento similar con respecto a las de origen animal.

Este estudio tiene por objetivo, a través de la recopilación de datos, ampliar el conocimiento actual relativo a los deportistas de alto nivel que consumen este tipo de proteínas, así como analizar el impacto que dicha ingesta ejerce sobre su rendimiento físico y deportivo. Asimismo, esta investigación busca fomentar el uso de diversas fuentes proteicas que, además de ser nutritivas, contengan un perfil completo de aminoácidos esenciales. De este modo, se pretende ampliar el cuerpo de conocimiento en el ámbito de la nutrición deportiva proporcionando diferentes perspectivas que faciliten la toma de decisiones informadas respecto al tipo de proteína más adecuado en función de la especialidad deportiva y los objetivos del entrenamiento.

Con base en la bibliografía existente, la mayoría de los autores que investigan este ámbito coinciden en que el rendimiento deportivo puede variar en función de la alimentación, la cual depende del tipo de disciplina practicada dado que las exigencias nutricionales y los requerimientos proteicos difieren entre deportes. Además, se ha evidenciado que muchos suplementos como la creatina, los nitratos o la beta-alanina tienen efectos positivos en el rendimiento deportivo. Por ejemplo, la creatina aumenta la fuerza y la potencia en esfuerzos cortos, los nitratos mejoran la resistencia porque reducen el costo de oxígeno y la beta-alanina retrasa la fatiga muscular en ejercicios de alta intensidad. Por ello, se ha decidido seleccionar a deportistas de tres disciplinas deportivas con características y necesidades di-

ferenciadas en cuanto a su rendimiento y a su necesidad de consumo de proteína, con el propósito de estudiar las diferencias en el rendimiento deportivo en función de la alimentación.

5. OBJETIVOS

Para poder realizar esta investigación, se establecieron objetivos principales y secundarios:

Objetivos principales:

- Determinar el impacto del consumo mixto de proteínas (animales y vegetales) versus el consumo exclusivo de proteínas vegetales o animales sobre el rendimiento deportivo, la fatiga y la recuperación muscular en atletas de élite de tres disciplinas diferentes: CrossFit , ciclismo y maratón.

Secundarios:

- Analizar las diferencias entre disciplinas deportivas en la manera en que los distintos tipos de proteína consumida se asocian con la fatiga, la recuperación y tolerancia a la carga muscular.
- Evaluar la relación entre la cantidad total de proteína ingerida y los niveles de fatiga post-entrenamiento y recuperación muscular con especial atención a los deportistas que consumen exclusivamente proteína vegetal.
- Comprobar si los deportistas que toman proteína vegetal están por debajo de sus necesidades proteicas en comparación con los que toman proteínas procedentes de fuentes animales y mixtas.

6. METODOLOGÍA

6.1 Diseño del estudio.

La primera parte del estudio se desarrolló con un enfoque descriptivo de manera que la recogida de datos se hizo a través de una encuesta estructurada sin intervención directa con los sujetos. Todo ello fue orientado a identificar patrones generales de consumo proteico, modalidad deportiva, tipo de entrenamiento y seguimiento nutricional, estructurándose en dos fases complementarias.

La primera fase, la encuesta, se aplicó a una muestra amplia de deportistas y se diseñó para recoger información de forma ordenada y sistemática. Estuvo compuesta por tres secciones principales: primero se preguntaron por datos personales y generales como la edad, el sexo o la disciplina deportiva practicada entre otras con el fin de facilitar la organización y clasificación de los datos. A continuación, nos centramos en las características del entrenamiento, incluyendo preguntas sobre el tipo y la frecuencia de los entrenamientos, la duración de las sesiones, los días de descanso y la intensidad del entrenamiento físico. Por último, la última sección estuvo centrada en los hábitos alimentarios y el consumo proteico, que abordó la frecuencia y cantidad de ingesta proteica, el tipo de proteína consumida (animal, vegetal o mixta), el uso de suplementos nutricionales y la existencia o no de seguimiento dietético.

El formato combinó preguntas cerradas (de opción múltiple o escala) y preguntas abiertas, permitiendo obtener tanto información cuantitativa como cualitativa. En conjunto, la encuesta permitió establecer un panorama general de los hábitos alimentarios, el consumo de proteínas y su relación con las características del entrenamiento.

En la segunda fase se realizó un seguimiento más específico a un grupo reducido de deportistas durante una semana, siete días consecutivos de entrenamiento. En este periodo, los participantes registraron diariamente sus ingestas, entrenamientos y niveles de fatiga tanto antes como después del entrenamiento, lo que permitió obtener una visión más individualizada y contextualizada del efecto del consumo proteico en la recuperación muscular y la fatiga percibida según la modalidad practicada para contar con información de ambos procesos y poder contrastarla.

Los registros diarios se estructuraron en tres apartados también: primero información personal (iniciales del nombre completo,edad,sexo,altura y peso) para facilitar la organización y la clasificación de los registros. Estos datos, a excepción de las iniciales, solo se pidieron el primer día. A continuación, información sobre el entrenamiento, incluyendo duración, intensidad, descripción general de la sesión y niveles de fatiga pre y post entrenamiento. Para finalizar, se preguntó por la ingesta alimentaria, donde se consignaba la cantidad y el tipo de proteína consumida cada día, todo ello apoyado por una tabla de referencia con el contenido proteico aproximado de distintos alimentos.

La fatiga o recuperación muscular se valoró mediante la Escala Visual Analógica (EVA) de 0 a 10, aplicada antes y después del entrenamiento como principal indicador del daño muscular percibido. Además, se cuantificó el estímulo de entrenamiento expresado en términos de duración

(horas y minutos) e intensidad (escala estandarizada de 0 a 10) para contextualizar la carga de trabajo de cada sesión y facilitar la comparación entre disciplinas.

En este diseño, la variable independiente principal fue el patrón de consumo proteico, clasificado según su origen en animal, vegetal o mixto, mientras que la variable dependiente principal fue la fatiga post-entrenamiento o recuperación muscular, evaluada a partir de los registros diarios y las valoraciones en la escala EVA.

A continuación, se explicarán los instrumentos utilizados en el diario y la manera en los que se usaron para medir las variables:

- Intensidad percibida.

Para obtener este dato, se utilizó la escala RPE (Rating of Perceived Exertion), que es un método subjetivo que permite al deportista valorar la intensidad de su esfuerzo durante el ejercicio, basándose únicamente en su percepción personal. Existen versiones como la de Borg (6–20), común en deportes de resistencia y versiones simplificadas de 0 a 10 usadas en entrenamientos generales o de fuerza.

La escala OMNI parte del mismo principio que la RPE pero incorpora elementos visuales (pictogramas) y descriptores adaptados al tipo de ejercicio (correr, pedalear, levantar peso, etc), lo que facilita su comprensión y aumenta su fiabilidad, sobre todo en principiantes. Dentro de esta familia, la OMNI-RES es una versión específica para ejercicios de fuerza o resistencia muscular, con imágenes y descriptores que reflejan mejor la fatiga y la percepción del esfuerzo en el entrenamiento con resistencias.

El estudio se basó en el RPE, pero usaremos OMNI y OMNI-RES, pues ambas incrementan la especificidad y la facilidad de uso en poblaciones y distintos entornos.

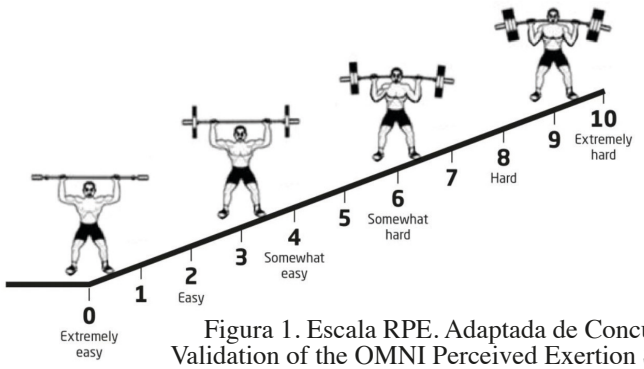


Figura 1. Escala RPE. Adaptada de Concurrent Validation of the OMNI Perceived Exertion Scale for Resistance Exercise, por Robertson et al. (2003).

- Carga de entrenamiento.

Esta variable fue la constituyente al rendimiento deportivo y la obtuvimos mediante la multiplicación de la intensidad con el volumen del entrenamiento. Se analizó de tal manera que conseguimos la capacidad de los deportistas de soportar la carga de entrenamiento durante la semana que duró el diario. De esta manera, se pudo analizar su relación con el impacto en los distintos tipos de dietas e ingestas proteicas en los tres deportes.

- Dolor muscular percibido.

Para ello utilizamos la escala EVA, escala subjetiva del dolor muscular percibido. Con ella recopilamos los datos sobre la fatiga pre y post entrenamiento, además de obtener los datos de recuperación muscular de los distintos días durante la semana del estudio. También se pudo analizar si existían diferencias entre las disciplinas deportivas según el tipo de proteína consumida y la percepción del dolor muscular, así como la comparación entre las disciplinas en relación con la fatiga y la cantidad de proteína ingerida.

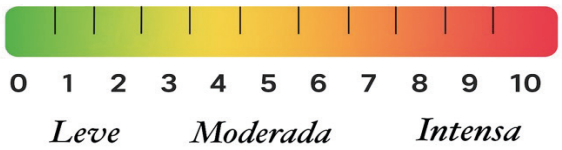


Figura 2. Escala EVA. Adaptada de Effectiveness of acupuncture therapy as treatment for tinnitus: a randomized controlled trial, por Doi et al. (2016).

- Cantidad diaria de proteína consumida.

Esta variable se utilizó para comprobar si los deportistas ingerían la cantidad de proteína necesaria en función de la disciplina practicada, conociendo así si estaban por encima, por debajo o si se encontraban en las necesidades proteicas teóricas recomendadas. Además, se utilizó para clasificar y comprobar si las cantidades diferían en función del deporte y el tipo de proteína ingerida.

Alimentos (ejemplos)	Ración habitual	Proteína aprox. por ración
Carnes magras: Pechuga de pollo, pavo, filete de ternera, lomo de cerdo	100 g (1 filete mediano)	22 g
Pescados blancos: Merluza, bacalao, lenguado, rape	100 g (1 lomo)	18-20 g
Pescados azules: Salmón, atún, caballa, sardinas, anchoas, trucha	100 g (1 lomo o lata 80 g)	20-25 g

Figura 3. Tabla de cantidades de proteína (se puede ver completa en anexos).

6.2 Participantes.

Los sujetos del estudio fueron deportistas de alto nivel activos de ciclismo (de ruta), CrossFit y carrera (maratón), con objeto de dar respuesta a la comparación entre demandas de fuerza/potencia y resistencia aeróbica descritas en el marco teórico y en el planteamiento del estudio.

Los participantes no fueron seleccionados al azar, sino que fueron voluntarios próximos a mi entorno. Asimismo, se verificó su disponibilidad asegurándonos de que cumplieran los criterios establecidos y se comprometieran a realizar el diario de siete días. Para ello se contactó con diferentes clubes, entrenadores, federaciones y redes específicas por disciplina asegurándonos de su experiencia y nivel. Para CrossFit se utilizaron distintos gimnasios como "Crossfit Maliciosa Moralzarzal", "Box Villalba" o "Sweet Death Sierra", pues fueron los más accesibles y los que aceptaron colaborar. Además, se contactó con Raúl Gutierrez, practicante y entrenador de Crossfit en Madrid que ayudó con la distribución de las encuestas, y con varios practicantes de élite. Por otro lado, para maratón fuimos a la media maratón de San Lorenzo y obtuvimos también la ayuda de varios maratonianos de élite, como Iago Calvo, Sonia Conde o Paloma Cantos entre otros, y finalmente, contactamos con la Federación Madrileña de Montañismo que nos puso en contacto con la Federación de Atletismo y la Agrupación Deportiva Marathon, asociaciones que colaboraron enormemente en esta toma de datos.

Por último, contamos con la participación de tres ciclistas de ruta profesionales, Daniel Pérez, Alejandro Belijar y Miguel Agudo, todos ellos contactos personales que cumplían los criterios del estudio y que nos consiguieron más deportistas de esta modalidad.

Para las encuestas se establecieron como criterios de inclusión los siguientes: deportistas de alto nivel, participantes de competiciones a nivel autonómico o nacional con al menos un año de experiencia competitiva en la modalidad declarada y disponibilidad para rellenar una encuesta única.

Por otro lado, el diario se realizó durante siete días incluyendo registros de ingesta y EVA en coherencia con el objetivo del proyecto. Al igual que las encuestas, lo llevaron a cabo todos aquellos deportistas que se ofrecieron voluntarios y contaban con un año de práctica. Como criterios de exclusión, se tuvo en cuenta que no existiera ninguna lesión o enfermedad aguda que pudiese influir en el entrenamiento en las cuatro semanas previas, cambios dietéticos mayores en las 4 semanas previas o imposibilidad de completar registros diarios.

En este proyecto han participado un total de 159 deportistas, siendo 25 de ellos los que rellenaron los diarios.

En la tabla 1 se muestran las características de los deportistas que completaron la encuesta. En el estudio participaron un total de 134 deportistas con una edad media en torno los 40 años de edad y se observa una predominancia de hombres en todos los deportes. El género "multideporte" hace referencia a todos aquellos deportistas que practican más de una de las disciplinas escogidas. En este género se observa un mayor volumen de entrenamiento debido a la combinación de varias disciplinas deportivas; los deportes de resistencia aeróbica mantienen un volumen similar, mientras que en CrossFit es ligeramente menor.

	CrossFit	Ciclismo	Maratón	Multideporte
Mujeres	37 (63.8%)	3 (10%)	10 (35.7%)	6 (33.3%)
Hombres	21 (36.2%)	27 (90%)	18 (64.3%)	12 (66.7%)
Edad	39.8 ± 9.1	38.8 ± 13.0	44.4 ± 11.6	41.6 ± 9.7
Volumen de entrenamiento	4.07 ± 1.19	4.90 ± 1.68	4.96 ± 0.98	6.00 ± 2.60
Total (n)	58	30	28	18

Tabla 1: Características de los deportistas encuestados.

En la tabla 2, se muestran las cualidades de los deportistas partícipes del diario. La media de edad en las tres disciplinas ronda los 40 años de edad, siendo algo menor en ciclismo y algo mayor en carrera. El peso es similar para las disciplinas de resistencia y algo mayor en CrossFit, mientras que la altura es similar en todas las disciplinas con menos variabilidad en ciclismo.

Disciplina	Edad promedio (años)	Peso promedio (kg)	Altura promedio (cm)
Carrera	42.67 ± 11.30	62.78 ± 10.77	170.11 ± 10.22
Ciclismo	38.00 ± 7.30	62.57 ± 6.88	171.57 ± 5.50
CrossFit	42.11 ± 5.42	66.93 ± 13.60	171.78 ± 9.18

Tabla 2. Características de los deportistas que rellenaron los diarios.

7. MARCO TEÓRICO

En este apartado se recogen los conceptos más importantes para poder entender en profundidad la relación que existe entre el rendimiento deportivo y la ingesta proteica y para comprender cómo la recuperación muscular y la fatiga se van a ver afectadas por esta relación. Para ello, es necesario conocer desde los aminoácidos, componentes esenciales de las proteínas, hasta los distintos tipos de proteínas. De igual manera, antes de enfocarnos en las disciplinas específicas que son objeto de este estudio, se ha de tener un previo conocimiento en lo referente al rendimiento, la recuperación muscular y la fatiga, aspectos esenciales para la comprensión de este proyecto de investigación.

7.1 Los aminoácidos.

Según el DRAE, un aminoácido es una sustancia química orgánica que contiene un grupo amino y un grupo carboxilo en su composición molecular. Además, son los componentes fundamentales de las proteínas.

Se tiene conocimiento de que existen 20 aminoácidos proteicos distintos que pueden combinarse en cualquier orden y repetirse de cualquier manera (Lopez & Mohiuddin, 2024). Normalmente, una proteína está constituida por entre 100 y 200 aminoácidos de modo que el número de combinaciones posibles es muy elevado y, en función de la disposición que adopten, sus propiedades varían y realizan diversas funciones (Voet et al., 2007).

Entre las funciones que poseen estarían: la reparación de tejidos, la producción de enzimas o el mantenimiento del sistema inmunológico entre otras. Young (2003) expone que de estos 20 aminoácidos que se conocen, once de ellos los sintetiza nuestro cuerpo de manera autónoma y automática y son los denominados no esenciales o dispensables, mientras que los nueve restantes son aquellos que no somos capaces de sintetizar de manera automática, sino que los obtenemos a partir de la dieta y son los conocidos como aminoácidos esenciales o indispensables.

7.2 Funciones de las proteínas en el deporte.

Siguiendo a Luque Guillén (s. f.) entre las funciones principales de las proteínas destacan:

La función estructural o de resistencia permite la formación de tejidos de sostén y relleno aportando elasticidad y firmeza a órganos y estructuras corporales. En el contexto deportivo, esta función resulta clave ya que las proteínas intervienen en la reparación y regeneración de tejidos musculares dañados durante el entrenamiento o tras una lesión, además favorecen la cicatrización y recuperación de la piel (Mardones, 2024).

La función enzimática comprende aquellas proteínas que actúan como catalizadores biológicos posibilitando reacciones químicas indispensables para la vida. En el deporte, estas enzimas desempeñan un papel esencial en la digestión y el aprovechamiento de los nutrientes, así como en los procesos de obtención y utilización de energía sin los cuales la actividad física no sería posible.

En cuanto a la función hormonal, algunas proteínas actúan como hormonas o participan en su síntesis y regulación. Estas sustancias controlan procesos vitales como el metabolismo, el crecimiento o la reproducción. Gutiérrez-Hellín (2023) señala que en el ámbito deportivo su papel es igualmente relevante, ya que regulan hormonas como la testosterona y el estrógeno, favoreciendo el desarrollo muscular y evitando desequilibrios hormonales que podrían afectar al rendimiento.

La función defensiva se basa en la producción de anticuerpos y otras proteínas encargadas de proteger al organismo frente a agentes patógenos. En el contexto deportivo esta función contribuye a mantener la salud del sistema inmunitario evitando infecciones que puedan interferir en la práctica y recuperación del deportista (Universidad de Murcia, 2005).

Por otro lado, la función de transporte es esencial para distribuir diferentes sustancias como oxígeno, vitaminas, minerales, ácidos grasos y hormonas a través del torrente sanguíneo. En el rendimiento deportivo esta función resulta determinante ya que asegura el aporte de oxígeno y nutrientes a los músculos, permitiendo la contracción muscular, la producción de energía y, en consecuencia, un mejor desempeño físico.

La función contráctil está representada por proteínas como la actina y la miosina, responsables de la movilidad mecánica del cuerpo. En el deporte son las encargadas de generar la fuerza y el movimiento muscular necesarios para realizar cualquier actividad física (Ayala-Guzmán et al., 2025).

En relación con la función energética, las proteínas pueden ser utilizadas como fuente de energía cuando las re-

servas de carbohidratos y grasas son insuficientes. En tales circunstancias, aportan aproximadamente 4 kcal por gramo mediante la gluconeogénesis, lo que permite mantener la actividad muscular en esfuerzos prolongados o situaciones de déficit energético.

Por último, la función homeostática permite mantener el equilibrio interno del organismo al regular parámetros como el pH, la temperatura, la concentración de sales y el contenido de agua y nutrientes. En el ámbito deportivo esta función resulta indispensable, ya que un estado óptimo de equilibrio garantiza que los procesos metabólicos y fisiológicos se desarrollen de forma coordinada asegurando así el rendimiento y la recuperación del deportista.

7.3 Proteínas de origen animal.

En este apartado se explicarán los distintos grupos y tipos de proteína animal que existen. Asimismo, trataremos las características particulares de la carne.

Las proteínas animales presentan claras ventajas frente a las vegetales ya que se digieren con mayor facilidad y contienen todos los aminoácidos esenciales, lo que las hace altamente eficaces para el crecimiento, la reparación muscular y el mantenimiento de funciones metabólicas. Sin embargo, también presentan desventajas, especialmente cuando su consumo es excesivo debido a su contenido de grasas saturadas y colesterol. Estas características pueden incrementar el riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo dos y ciertos tipos de cáncer. Además, su producción tiene un mayor impacto ambiental en comparación con la proteína vegetal. En consecuencia, aunque la proteína animal es una fuente nutritiva y completa, su ingesta debe ser equilibrada para maximizar sus beneficios y minimizar sus efectos negativos sobre la salud (Proteínas de origen animal y vegetal. Alimentos y análisis de la composición nutricional, s. f.).

También es importante saber que una proteína tiene mejor calidad nutricional cuando sus componentes —los aminoácidos— se parecen a los que forman las proteínas del cuerpo humano. De esta manera, el organismo puede aprovechar mejor esos aminoácidos esenciales que necesita para crecer, reparar tejidos y funcionar correctamente (Nneka Ajomiwe et al., s. f.; Berrazaga et al., 2019; Adhikari et al., 2022).

7.3.1 Carnes.

La carne contiene entre un 60% y un 80% de agua y alrededor de un 20-25% de proteínas de alto valor biológico esenciales para el organismo. Su contenido graso es variable según la especie y la alimentación del animal. Además, destaca por su aporte de vitamina B12 y por ser una fuente importante de hierro y otros minerales esenciales para el buen funcionamiento del cuerpo.

Dentro de las carnes, hay distintos tipos: carne de cerdo (alto valor energético y biológico), de vacuno (alto contenido de minerales y aporte energético), de ovino (vitaminas), de cabra (por su bajo nivel de grasa), de conejo (por la proporción adecuada de aminoácidos) y de pollo (por el alto valor proteico, usado por muchos deportistas) (Alvarado et al., 2021; Dos Santos Quaresma et al., 2021; Wang et al., 2024).

7.3.2 Huevo.

Es uno de los alimentos más completos en cuanto a calidad proteica. Tanto Lima et al. (2022) como Usturoi et al. (2025) argumentan que contiene proteínas de alto valor biológico, especialmente la albúmina, presente en la clara. Además, este alimento aporta grasas saludables, vitaminas A, D, E y K, y minerales como hierro, fósforo, zinc y selenio (Puglisi & Fernandez, 2022).

7.3.3 Lácteos.

Presentan gran variedad de nutrientes y un adecuado balance de grasas, proteínas y carbohidratos. Las proteínas de estos alimentos son de alta calidad, ya que aportan todos los aminoácidos esenciales y facilitan la digestión adaptándose a diversos tipos de dietas y grupos de personas (Alvarado et al., 2021). Además, aportan calcio y fósforo, fundamentales para la salud ósea y el control de la grasa corporal. En el ámbito deportivo, la leche favorece la recuperación por su contenido proteico, mientras que el yogur aporta probióticos beneficiosos para el intestino. Un aspecto a tener en cuenta es que del suero de leche se obtiene la proteína whey, un suplemento de rápida absorción que contribuye a la síntesis y recuperación muscular.

7.3.4 Pescados.

Tienen un alto porcentaje de digestibilidad, entre el 90 y el 98% y suelen aportar entre 18 y 22 gramos de cada 100 de proteína. Como afirma Kumoro et al. (2022), los

pescados contienen vitaminas A y D, y minerales como el fósforo; además, abundan los ácidos poliinsaturados que se asocian a la prevención de enfermedades cardiovasculares. La composición y el valor nutritivo vienen determinados por variables como la especie, la edad o el tipo de alimentación (Khan et al., 2022). Por ejemplo, los pescados magros como la merluza o el bacalao aportan proteínas sin apenas grasa, mientras que los pescados azules como el salmón o el atún combinan proteínas de alto valor energético con ácidos grasos como el omega-3.

7.3.5 Beneficios nutricionales.

Generalmente, todos los tipos de proteína pertenecientes a este gran grupo poseen una alta biodisponibilidad porque pueden digerirse y utilizarse de manera más rápida y eficaz como bien afirman muchos nutricionistas. Otro aspecto a tener en cuenta es la cantidad de nutrientes que aportan, algunos ejemplos serían las vitaminas B, el hierro,el zinc o el calcio entre otros (Cuentos Que No Se Comen, s. f.; Salud180, s. f.).

7.4 Proteínas de origen vegetal.

En el caso de la proteína vegetal, se trata de una fuente de nutrientes e ingredientes funcionales por su variedad, disponibilidad y precio. Como afirman Dayana Quesada & Georgina Gómez (2019), las proteínas de origen vegetal presentan diversas ventajas en comparación con las animales, destacando su bajo contenido de grasas saturadas y colesterol lo que contribuye a la prevención de enfermedades cardiovasculares y al mantenimiento de una salud metabólica adecuada. Asimismo, su consumo frecuente se asocia con menor riesgo de obesidad y favorece patrones dietéticos más sostenibles desde el punto de vista ambiental (Cañellas Estarellas, 2022; Stoodley et al., 2023). No obstante, estas proteínas presentan ciertas limitaciones, como una digestibilidad relativamente inferior debido a su localización en gránulos, lo que dificulta la acción de las enzimas digestivas, así como un perfil incompleto de aminoácidos esenciales, lo que puede comprometer la calidad proteica si no se combinan adecuadamente diversas fuentes vegetales. En consecuencia, aunque las proteínas de origen vegetal aportan beneficios importantes para la salud, especialmente en términos cardiovasculares y metabólicos, es fundamental mantener una dieta variada que asegure la ingesta completa de aminoácidos esenciales.

A continuación, se detallarán los distintos grupos que conforman esta proteína y los beneficios nutricionales que poseen.

7.4.1 Legumbres.

Las legumbres son un tipo de leguminosas cosechadas para obtener semillas secas (Delgado-Andrade et al., 2016).

De manera genérica se puede afirmar que son una fuente de carbohidratos y proteínas de alta calidad debido a su alto porcentaje de fibra soluble. También contienen bajo contenido en lípidos y niveles importantes de vitaminas B, ácido fólico y ciertos minerales como el calcio o potasio entre otros (Guerrero et al., 2003; Santos et al., 2024). Su contenido de proteínas ronda entre el 17 y el 25% de su composición total.

Hay muchos derivados de la soja como por ejemplo el tofu, elaborado a partir de la coagulación de la soja con sales de magnesio o patata; el tempeh, que se consigue tras la fermentación de un tipo de hongo y soja cocida; y el miso que se consigue al fermentar la soja. Todos ellos son muy utilizados en las dietas vegetales debido a su contenido de proteína en distintas proporciones (Bailón-Uriza et al., 2023).

7.4.2 Cereales.

Para Hervert Hernández (2022) los cereales son los granos de las plantas herbáceas pertenecientes al grupo de las gramíneas, y los tres más utilizados son el trigo, el maíz y el arroz.

Los granos poseen una gran cantidad de hidratos de carbono (entre el 65 y el 75% de su peso total) y de proteína (entre un 6 y un 12%), sin embargo, poseen menor cantidad de grasa (entre 1 y 5%). Además, son una gran fuente de vitamina B y minerales como fósforo o potasio.

7.4.3 Frutos secos y semillas.

Basándonos en lo encontrado por Maldonado Velasco et al. (2022), los frutos secos contienen una gran cantidad de macronutrientes como fibras y proteínas, y micronutrientes como calcio, magnesio o potasio.

Sus propiedades presentan un equilibrio entre grasas, proteínas, carbohidratos y fibra, además de poseer un aminoácido cardioprotector, la arginina.

Cada variedad de fruto seco aporta diferentes vitaminas y minerales, por ejemplo las almendras son una fuente de vi-

tamina E, calcio, ácido fólico y magnesio, mientras que los anacardos destacan por su contenido en cobre y magnesio (Alasalvar et al., 2023; Rayo et al., 2024). Normalmente todos los frutos secos contienen alrededor de un 10 y un 30% de proteína. Una ingesta muy elevada puede interferir en la absorción de minerales importantes como el calcio o el hierro, y otro aspecto a considerar es su alta proporción de calorías debido al contenido de grasas.

En este grupo también se encuentran las semillas, que son los granos contenidos en el interior del fruto cuando germina. Actualmente las más comunes son las semillas de chía, sésamo, amapola y de lino, que contienen aproximadamente un 30% de proteína (Van Loon, 2021).

7.4.4 Beneficios nutricionales.

Además de los ya mencionados anteriormente, esta dieta posee otros beneficios como la baja ingesta de grasas saturadas, la alta ingesta de carbohidratos, fibra, magnesio, potasio, vitamina B9, antioxidantes (vitaminas C y E) y otros antiinflamatorios (Ferreira et al., 2006).

Se ha visto que aquellos que siguen una dieta vegetariana tienen menos probabilidad de sufrir infartos de miocardio o enfermedades cardiovasculares, presentan menos nivel de colesterol en sangre, poseen menos riesgo de padecer cáncer de intestino y próstata y la obesidad también es reducida (Ferreira et al., 2006). Todas estas condiciones serían razones por las que los deportistas y la población en general querrían optar por llevar una alimentación basada en fuentes vegetales, ya que obtendrían beneficios importantes en la salud.

Sin embargo, ninguno de estos tipos de proteína vegetal aporta por sí mismo la totalidad de aminoácidos esenciales, por lo que se recomienda combinarlos, particularmente mediante la asociación de legumbres y cereales de manera que se complementen y satisfagan de forma adecuada los requerimientos proteicos. Tal y como explican los estudios de Hertzler et al. (2020) y Pinckaers et al. (2021), esta complementariedad cobra especial relevancia en el contexto de la actividad física, donde el aporte de aminoácidos esenciales, en especial de leucina, resulta determinante para estimular la síntesis proteica muscular tras el ejercicio. Una ingesta insuficiente o desbalanceada puede comprometer los procesos de recuperación y reparación de las fibras musculares, prolongando la fatiga post-ejercicio y afectando la adaptación al entrenamiento. Además, Dimina et al. (2022) explica que en ejercicios de alta intensidad o de larga duración, la demanda proteica se incrementa debido al mayor catabolismo de aminoácidos como fuente energética secundaria, lo que refuerza la necesidad de asegurar un perfil completo de aminoácidos esenciales a través de una dieta planificada que combine de manera estratégica diferentes fuentes de proteína vegetal.

7.5 Tipos de dietas.

Este apartado agrupará las dietas más relevantes tanto por su popularidad como por su relevancia en el ámbito deportivo.

7.5.1 Veganismo y vegetarianismo.

Según la Academia de Nutrición y Dietética, “una dieta vegetariana bien organizada puede satisfacer todas las necesidades nutricionales y de energía del deportista”. Sin embargo, la mayoría de la población que opta por este tipo de alimentación no se somete a ningún seguimiento por parte de un especialista, igual que ocurre con la mayor parte de la población deportista como veremos más adelante en los resultados de nuestra investigación (Braña & Maidana, 2024).

Hay una diferenciación en cuanto al tipo de alimentación vegetal que puede llevarse:

- *Veganismo:* Excluye todos los alimentos de origen animal y sus derivados como los productos lácteos,la miel o los huevos (Saiz & Díaz, 2020).

Dentro de los aminoácidos esenciales de la dieta vegana, hay que prestar atención a la lisina, pues se encuentra en muy pequeñas cantidades en cereales, nueces y vegetales, es por ello que se recomienda incluir legumbres en la alimentación (Mayoral, 2000). Tanto la soja como la quinoa poseen todos los aminoácidos esenciales en proporciones adecuadas, por lo que tanto estas como sus derivados adquieren una gran relevancia en este tipo de dietas.

En el caso de la vitamina B12, muy presente en la proteína animal, debe tomarse como suplemento obligatorio o como alimento fortificado; este término quiere decir que por sí solos esos alimentos no poseen vitamina B12, sino que se les ha añadido. Esta vitamina es esencial para la formación de glóbulos rojos y el correcto funcionamiento del sistema nervioso, por ejemplo, se percibiría mayor fatiga

y debilidad debido a la menor capacidad de transporte de oxígeno y podrían darse trastornos cognitivos como confusión o pérdida de memoria.

- *Vegetarianismo*.

Tiene tres corrientes, en las que se pueden tomar distintos alimentos procedentes de fuentes animales. La dieta ovo-lacto-vegetariana, la más común dentro de este grupo, se caracteriza por incluir tanto lácteos como huevos en la alimentación. Por otro lado, se encuentran los lacto-vegetarianos, cuya nutrición excluye todos los productos de origen animal, a excepción de los lácteos y sus derivados. Y por último, los ovo-vegetarianos, cuya alimentación se caracteriza porque sólo ingieren huevos como alimento de procedencia animal.

Existen otras variantes donde están incluidas el flexitarianismo o el semi-vegetarianismo, que están caracterizados porque pueden tomar ocasionalmente productos de origen animal (Monroy- Rodríguez et al., 2024). Por otro lado, el crudiveganismo constituye una modalidad dietética orientada al consumo exclusivo de alimentos no procesados, los cuales se ingieren en su estado íntegro y natural.

Tanto las dietas vegetarianas como las veganas presentan ventajas e inconvenientes que deben considerarse, especialmente en el ámbito deportivo. Santos et al. (2024) expone que entre sus beneficios destacan su menor densidad energética, lo que favorece el control del peso corporal, y su bajo contenido en grasas saturadas y azúcares, factores que contribuyen a una mejor salud cardiovascular. Además, aportan una alta cantidad de fibra, potasio y vitamina C, nutrientes que mejoran la digestión, regulan la presión arterial y actúan como antioxidantes. Tanto Van Den Berg et al. (2022) como Hamed et al. (2024) argumentan que en el caso de los atletas veganos, la suplementación con proteínas vegetales puede optimizar el rendimiento, especialmente cuando existen carencias proteicas. Suelen emplearse el aislado de proteína de soja, rica en lisina, o combinaciones de legumbres y cereales, como guisantes y arroz, por su complementariedad en aminoácidos. No obstante, ambas dietas pueden presentar deficiencias en ciertos nutrientes, especialmente en vitamina B12, por lo que se recomienda una adecuada planificación y, en muchos casos, el uso de suplementos para cubrir los requerimientos nutricionales (Soria-Hernández et al., 2020; Domingo Ajenjo, 2021).

7.5.2 Cetogénica.

La dieta cetogénica o keto, es aquella en la que se reduce la ingesta de carbohidratos y se aumenta la de grasas. Basándonos en la información obtenida en los estudios de Prado Gausí (2023) y Cabo (2024), esta acción produce que el organismo entre en cetosis, proceso metabólico donde el cuerpo oxida grasas debido a la falta de carbohidratos produciendo cetonas, que son compuestos sintetizados en el hígado cuando no se posee suficiente glucosa en el organismo. Habitualmente, como se está disminuyendo el consumo de glúcidos se aumenta la cantidad de proteína, que normalmente suele ser de fuentes animales porque contiene menos carbohidratos que las vegetales. Sin embargo, este aumento puede hacer que los aminoácidos se transformen en glucosa, proceso conocido como gluconeogénesis, reduciendo la producción de cetonas (Westman et al., 2007).

Hay distintos tipos de dietas cetogénicas, entre las que destacan la clásica, la Atkins modificada, la de bajo índice glucémico o la rica en triglicéridos de cadena media (Cortez Suarez et al., 2024).

Diversos estudios como el de González & Carmona (2020) señalan que una dieta cetogénica bien planificada mejora la oxidación de grasas al promover el uso de ácidos grasos y cuerpos cetónicos como principales fuentes de energía, lo que preserva el glucógeno, retrasa la fatiga y aumenta la eficiencia en esfuerzos prolongados. Según Paoli et al. (2015) es común en deportes de fuerza/potencia o resistencia, pues la cetosis que genera puede favorecer la recuperación muscular y reducir la percepción de esfuerzo, ayudando a mantener el rendimiento (Burke, 2021; Vargas-Molina et al., 2024).

A corto plazo esta dieta puede producir mayor fatiga o mareos, así como irritabilidad o mayor dificultad de concentración. Estos síntomas se deben a que el agua que retiene el glucógeno se pierde, lo que lleva a la deshidratación y al desequilibrio de los niveles de sodio. Por otro lado, a medio y largo plazo puede verse afectado por déficits de micronutrientes y, al restringir el consumo de frutas y verduras, la reducción de fibra puede generar problemas digestivos como estreñimiento. A ello se suma que un mayor consumo de grasas puede alterar los lípidos sanguíneos, elevando especialmente los niveles de colesterol LDL (Patikorn et al., 2023; Zemer et al., 2024).

7.5.3 Carnívora.

La dieta carnívora se basa en la ingesta exclusiva de productos cárnicos de res, cerdo, ave, pescado,algunos productos derivados de los animales como los lácteos, siempre y cuando sean ricos en grasas, y los huevos. No se puede tomar ningún alimento procedente de fuentes vegetales, ni frutas ni vegetales (Almeida, 2025). Está considerada una forma extrema de dieta cetogénica debido a la ausencia de carbohidratos.

Esta dieta presenta algunas ventajas, como la pérdida de peso y el control de la obesidad, posiblemente debido al alto poder saciante de la carne y a la reducción de los niveles de insulina. También se han observado mejoras en el bienestar general, con mayor energía y claridad mental (Kirwan et al., 2022; Goedeke et al., 2024). Sin embargo, sus desventajas son significativas: la falta de vitaminas B y C puede generar problemas de salud, mientras que el exceso de colesterol y grasas saturadas aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo dos. Además, puede causar estreñimiento, alteraciones digestivas y una reducción del microbioma intestinal, esencial para la salud digestiva e inmunológica (Lennerz et al., 2021; Karačić et al., 2024).

7.6 Deporte y consumo de proteína.

Para poder entender bien el concepto de deporte es necesario definir previamente el término de actividad física. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) es "cualquier acción realizada por los músculos esqueléticos del cuerpo que conlleva un gasto energético."

El deporte abarca cualquier tipo de actividad que involucre aspectos físicos e intelectuales. Es distinguido por su competitiva naturaleza y su objetivo es superar desafíos y descubrir y probar habilidades (Triviño y Palma Bravo, 2023). También se refiere a la capacidad humana para llevar a cabo funciones motoras, es decir, la aptitud de movilidad (Torres et al., 2024).

Respecto a las necesidades de proteína en el deporte, según Martins Santos y Lourenço Rodrigues (2021) si el objetivo es ganar masa muscular, se recomienda consumir entre 1.6 y 1.8 gramos de proteína cada día por cada kilogramo del peso muscular del deportista. En cambio, en los deportes que presentan altas demandas de resistencia, se sugiere ingerir entre 1.2 y 1.6 gramos de proteína por cada kilogramo del peso muscular cada día (Escalante, 2011; Moralejo, 2014). En los casos de dietas vegetarianas, se debe aumentar la proporción de proteína entre un 10-15% debido a la falta de aminoácidos esenciales, la digestibilidad y la biodisponibilidad. En los periodos de demanda muy alta o ultra-demanda en disciplinas de resistencia, como Grand Tours o ultramaratones, la cantidad de proteína que se recomienda ingerir es mayor, rondando entre los 2 y 2.5 gramos de proteína por cada kilogramo del peso muscular. En deportes de fuerza/potencia como el CrossFit ocurre lo mismo, la cantidad se modifica en función de la fase de la temporada, por ejemplo en periodos de alta intensidad ronda los 2 gramos por cada kilogramo del peso muscular y, en periodos de entrenamiento de hipertrofia, en los que se busca maximizar las ganancias de masa muscular, puede llegar hasta los 2,8 gramos por cada kilogramo de peso muscular (González-Gross et al., 2001; Martínez Sanz et al., 2013; Escarez Ferreira et al., 2015; Suarez, 2025).

7.6.1 Rendimiento deportivo.

El rendimiento deportivo podría considerarse el resultado de la interacción de un gran número de factores físicos, técnicos, tácticos, emocionales, mentales y sociales, lo que convierte su optimización en un desafío multidimensional. En este contexto, el descanso y la recuperación adquieren un papel primordial al influir directamente en la capacidad del deportista para tolerar y asimilar las cargas de entrenamiento (Nogueira López et al., 2021).

Estudios como los de Jorquera Bonafonte (2018) y Santiago (2025) establecen que para analizar el rendimiento de manera rigurosa es fundamental desglosar y comprender los componentes que configuran la carga de entrenamiento, entendida como la combinación de varios factores clave: la intensidad, que representa el grado de esfuerzo requerido en cada sesión; el volumen, correspondiente a la cantidad de ejercicio realizado; la densidad, entendida como la relación entre el tiempo de esfuerzo y los intervalos de recuperación; y la complejidad de los ejercicios, que integra aspectos técnicos y motores avanzados.

Entre los métodos más utilizados para cuantificar la intensidad del entrenamiento destaca la escala RPE (Rate of Perceived Exertion o Tasa de Esfuerzo Percibido), ampliamente validada en el ámbito científico. Una de sus apli-

caciones más relevantes es permitir el cálculo de la carga de entrenamiento cotidiana mediante la multiplicación de la intensidad percibida por el volumen de ejercicio realizado. Diversos estudios como los de J. Acoust (1984) y Fusco et al. (2022), han demostrado que la RPE no solo se correlaciona excelentemente con indicadores fisiológicos objetivos como la frecuencia cardíaca, el consumo máximo de oxígeno (VO_2max) o la concentración del lactato, sino que también se ha revelado como un indicador sensible del estado de fatiga y de los procesos de recuperación (Mujika, 2006; Cejuela Anta, 2020; Sánchez, 2025).

Las investigaciones de Sanz (2012) y Lozano & Alcívar (2023) explican que ciertos nutrientes y suplementos pueden tener efectos muy positivos en el entrenamiento y rendimiento deportivo. Los hidratos de carbono por ejemplo, son muy importantes para los deportistas porque son una fuente esencial de energía para mantener el esfuerzo físico cuando van a realizar ejercicios de alta intensidad. Por otro lado, la proteína es clave para la recuperación y el crecimiento muscular, y las grasas saludables son esenciales para la salud hormonal y para contar con la energía suficiente para ejercicios duraderos. Llevar a cabo una buena alimentación y ajustarla dependiendo de la fase del entrenamiento en la que esté el deportista es clave para obtener un rendimiento óptimo (Darwish et al., 2023 ; Franzke et al., 2025).

Los análisis de López-Domínguez & Sanchez-Oliver (2018) y Muñoz-Maldonado et al. (2021) establecen que muchos deportistas toman suplementos deportivos que pueden servir para complementar la alimentación o para potenciar el rendimiento físico, mejorando la recuperación, la resistencia o aumentando la masa muscular. Uno de los suplementos más consumidos es la creatina, que potencia el rendimiento en esfuerzos explosivos, proporciona energía rápida a los músculos, promueve la recuperación y previene la fatiga (Cano & Redondo, 2019).

No obstante, es importante destacar que el suplemento más consumido es la proteína en sus diferentes formas porque actúa positivamente en la recuperación y desarrollo muscular, lo que favorece en la reparación y crecimiento muscular, permite un control más ajustado y específico de la cantidad y es de fácil acceso. De esta manera, el deportista puede cubrir todas las necesidades proteicas de su alimentación, lo que corresponde al objetivo principal de esta investigación.

7.6.2 Fatiga y recuperación muscular.

La fatiga se suele definir como el daño que se desarrolla a un nivel microscópico que crece hasta que llega al punto crítico cuando no se puede mover la carga máxima (Bestwick-Stevenson et al., 2022). La dificultad para definir la fatiga en el ámbito deportivo se debe a la diversidad de procesos de recuperación y adaptación que intervienen, así como a la compleja interacción entre ellos (Zhou, 2023). Cuando se habla de fatiga deportiva, podemos referirnos a la fatiga central, que afecta al sistema nervioso interfiriendo en las neuronas que controlan la contracción de los músculos como indica Pickering et al. (2024), y la fatiga periférica que implica un deterioro en los procesos bioquímicos de la contracción muscular.

En este proyecto nos centraremos en la fatiga aguda a nivel muscular (periférica) inmediatamente después del entrenamiento y en las 24 horas posteriores antes del siguiente entrenamiento.

Basándonos en Nogueira López et al. (2021) y en Zhou (2023) se ha visto que en pruebas de resistencia que conllevan acciones cíclicas, como el ciclismo, los músculos esqueléticos son sometidos a miles de contracciones continuas, lo que incrementa significativamente el estrés mecánico y conduce a la aparición de fatiga neuromuscular. Esta fatiga se plantea como un factor limitante clave ya que impacta negativamente tanto en la eficiencia como en la calidad del rendimiento físico y puede generar repercusiones no solo en el plano físico (pérdida de fuerza, alteraciones técnicas), sino también en el mental (agotamiento, disminución de la motivación).

Según Bestwick-Stevenson et al. (2022), la fatiga en entrenamientos de alta intensidad o volumen se debe principalmente a la deshidratación, el agotamiento del glucógeno, el daño muscular y una regulación térmica deficiente. Además, un control inadecuado entre la intensidad, la frecuencia y los descansos puede provocar sobreentrenamiento y una acumulación progresiva de fatiga que afecta el rendimiento.

Tanto el desarrollo de la fatiga como los procesos de recuperación involucran mecanismos complejos que incluyen desde alteraciones en el sistema nervioso central hasta ajustes metabólicos celulares dentro de la musculatura activa. La recuperación no solo puede definirse como el

retorno al estado basal, sino también como la capacidad de restaurar el rendimiento óptimo tras una carga significativa, favoreciendo procesos fisiológicos, psicológicos y sociales que facilitan la adaptación (Wiewelhove et al., 2015). De esta forma, el proceso de recuperación puede verse alterado, por lo que el uso de una o varias técnicas resulta útil para reducir el tiempo necesario para que la fatiga desaparezca. Una recuperación adecuada favorece la restauración de los procesos fisiológicos, sociales y psicológicos.

Uno de los instrumentos que se pueden utilizar para obtener datos sobre la fatiga de tipo periférico (a nivel muscular) así como sobre la recuperación entre sesiones de entrenamiento –entendida como la reducción de la fatiga desde un entrenamiento al siguiente–, es la Escala Visual-Analógica (EVA). Esta herramienta subjetiva proporciona una medida unidimensional cuantitativa de la intensidad del dolor o fatiga percibida, permitiendo su seguimiento longitudinal en el tiempo para evaluar la evolución y respuesta al entrenamiento (Hawker et al., 2011). La manera más común de encontrarla es como una escala numérica, donde se representa el dolor del 0 al 10, donde 0 indica ausencia de dolor y 10 dolor máximo, y suele venir dividida en colores, siendo el verde indicativo de poco dolor y rojo máximo dolor.

La validez y fiabilidad de la Escala Visual Analógica está ampliamente respaldada, correlacionándose estrechamente con otras escalas de dolor, como la escala verbal simple u otras escalas numéricas, lo que la convierte en un estándar confiable para el seguimiento clínico y deportivo). El uso de este tipo de escalas en la práctica deportiva es especialmente relevante, ya que permite al deportista y a los preparadores físicos monitorizar diariamente la magnitud de la fatiga y ajustar la carga o la recuperación de manera personalizada para maximizar el rendimiento y evitar riesgos de lesión o sobreentrenamiento.

7.6.3 Ciclismo de ruta.

El ciclismo de competición federado está controlado por la Unión Ciclista Internacional (UCI). En él podemos encontrar muchas modalidades como: ciclocross, ciclismo en pista, ciclismo de montaña, trial, BMX y ciclismo de ruta; cada modalidad presenta demandas específicas que condicionan el entrenamiento y la preparación (Muriel Otegui, 2022). En esta investigación nos centraremos en el ciclismo de ruta, especialidad practicada en carreteras asfaltadas que puede incluir rutas planas con ascensos y descensos. Se suele usar una bicicleta ligera para maximizar la velocidad, además al ser un deporte de resistencia la aerodinámica y el pedaleo son fundamentales (Mujika & Padilla, 2001). De ahí la importancia de que los ciclistas sean capaces de generar mucha potencia (Watios) con la fuerza de sus piernas.

El ciclismo de ruta es considerado un deporte de resistencia que demanda mantener un esfuerzo prolongado, predominando el metabolismo aeróbico-anaeróbico y exigiendo una elevada eficiencia cardiovascular y muscular para sostener dicho esfuerzo a lo largo del tiempo (Hawley & Stepto, 2001).

Entre los aspectos clave para el rendimiento en ciclismo de alto nivel, destaca especialmente la relación peso-potencia, que condiciona la capacidad para superar esfuerzos en distintos perfiles de terreno, especialmente en ascensos (Calderay Mora, 2022). En términos nutricionales, se ha demostrado que los alimentos ricos en carbohidratos deben ser la mayor parte del aporte energético en los entrenamientos, mientras que la ingesta proteica tiende a ajustarse hacia un nivel menor que el de los carbohidratos pero suficiente para contribuir de forma adecuada al mantenimiento y reparación muscular. En los ciclistas, las calorías deben establecerse según el gasto calórico de cada uno y estas deben provenir de distintas fuentes (Goh et al., 2012; Fragolini, 2021). En paralelo, los micronutrientes y una hidratación adecuada con líquidos y electrolitos (sodio,potasio o magnesio) son fundamentales para preservar la función fisiológica óptima. La reposición post-esfuerzo se centra en restaurar las reservas de glucógeno mediante la ingesta de carbohidratos y reconstruir fibras musculares degradadas con proteínas de alta calidad (Osterberg et al., 2008; Som Castillo et al., 2010).

Un suplemento habitual es la cafeína, tomada antes de la realización del ejercicio normalmente porque favorece el rendimiento, retrasando la fatiga y optimizando la contracción muscular (Martínez Iturriaga, 2020).

7.6.4 CrossFit.

El CrossFit se define como una disciplina y sistema de entrenamiento basado en movimientos funcionales realizados a alta intensidad y variación constante. Los movimientos funcionales se caracterizan por la utilización de varias articulaciones y músculos que trabajan juntos en cadena,

que involucran desde el tronco hasta las extremidades, implicando múltiples articulaciones de manera integrada, por lo que son movimientos compuestos y naturales que mejoran habilidades cotidianas (Torres et al., 2024). Lo que más destaca de este tipo de movimientos es su capacidad para desplazar grandes pesos a largas distancias de manera rápida (Glassman, 2021).

El CrossFit combina entrenamientos de calistenia, entrenamientos cardiovasculares y levantamiento de pesas. Utiliza cuatro enfoques distintos, el primero se apoya en diez habilidades físicas conocidas entre los expertos: resistencia cardiovascular y respiratoria, fuerza, flexibilidad, potencia, velocidad, coordinación, agilidad, equilibrio, precisión y resistencia muscular. el segundo se centra en la realización de actividades atléticas específicas, el tercero se fundamenta en la optimización de los sistemas energéticos de cualquier actividad humana, y el cuarto estudia los indicadores de salud como medida del nivel de fitness general (Meier et al., 2023). Estos enfoques buscan mejorar de forma integral todas estas capacidades, de modo que el atleta no solo destaque en una, sino que alcance un alto nivel de condición física general aplicable a cualquier tipo de esfuerzo o disciplina deportiva.

Finalmente, debido a la naturaleza variable y desafiante de esta disciplina, la intensidad del entrenamiento debe ser ajustada constantemente para evitar estancamiento y optimizar la preparación física.

Los deportistas que practican esta disciplina deben llevar una dieta rica en proteína (carnes y vegetales, semillas y nueces) y controlar la hidratación y el equilibrio electrolítico, pues una hidratación deficiente puede afectar negativamente el rendimiento (Glassman, 2021; Vidal et al., 2024). Cárdenas (2019) argumenta que debido a las altas demandas energéticas, los atletas deben consumir cantidades adecuadas de carbohidratos para cubrir las necesidades nutricionales, pudiendo completar esta ingesta con suplementos ricos en carbohidratos en función del peso corporal, la intensidad y la duración del ejercicio. Basándonos en la investigación de Jacobsen (2024), la proteína por su parte sigue siendo esencial para minimizar la degradación muscular y favorecer la síntesis proteica y reparación tisular posterior al entrenamiento.

7.6.5 Carrera de larga distancia.

El máximo exponente de las pruebas de larga distancia es la maratón que consiste en correr 42,195 kilómetros en una sola carrera y pertenece al grupo de los deportes de resistencia al igual que el ciclismo.

Durante el entrenamiento, el cuerpo adapta su metabolismo para favorecer la utilización de grasas como fuente energética predominante y preservar así los depósitos de glucógeno, elemento clave para rendimientos sostenidos en pruebas de duración prolongada (J.S Costa et al., 2019).

En este contexto, la alimentación debe priorizar un aporte abundante de carbohidratos y proteínas, los primeros para garantizar la reposición del glucógeno muscular y mantener niveles adecuados de energía, y las proteínas para facilitar la recuperación y reparación muscular contrarrestando el desgaste propio del esfuerzo prolongado (Jeukendrup, 2017). Varios estudios como el de Huang et al. (2017) han demostrado que la suplementación con proteína whey ayuda notablemente en la recuperación muscular, aumentando la masa muscular y ayudando a obtener un rendimiento aún mejor. Lo que destaca la importancia del consumo adecuado de proteínas también en disciplinas con estas características.

Otro factor clave es la hidratación, en una carrera promedio se suele perder una gran cantidad de agua debido a la sudoración. Por tanto, el equilibrio de líquidos y electrolitos en el organismo es esencial para mantener la homeostasis, así como otros factores como la temperatura corporal, la función muscular y cardiovascular o el volumen plasmático. Por ello, se recomienda realizar una buena hidratación antes, durante y tras la carrera o el periodo del esfuerzo. Como destacan los estudios realizados por Casa et al. (2010), Saunders et al. (2018) y Tiller et al. (2019), la recuperación óptima posterior a la carrera implica no solo una restauración eficiente de los depósitos de glucógeno a través del consumo de carbohidratos, sino también la reparación del daño muscular mediante una ingesta adecuada de proteínas y la reposición de electrolitos para corregir pérdidas minerales derivadas del sudor.

8. HIPÓTESIS

La hipótesis principal que se plantea es si diferentes patrones de consumo de proteína (exclusivamente proteína animal, exclusivamente proteína vegetal o combinación mixta de ambas fuentes), influirán de manera diferenciada en el rendimiento deportivo (entendido como carga de entrenamiento soportada), en la fatiga post-ejercicio y en la recuperación entre sesiones de entrenamiento de cada una de las tres disciplinas estudiadas.

Concretamente, se espera que dichas diferencias se manifiesten de manera específica en cada una de las tres disciplinas estudiadas (CrossFit, ciclismo y maratón) dadas sus particularidades fisiológicas y metabólicas. Por consiguiente, el patrón mixto de consumo proteico, que combina fuentes animales y vegetales, podría favorecer una mayor capacidad para tolerar volúmenes e intensidades de entrenamiento elevados, reducir la sensación de fatiga post-ejercicio y optimizar la recuperación muscular, en comparación con los patrones basados en una sola fuente exclusiva (animal o vegetal). Además, pensamos que este efecto podría resultar más pronunciado en disciplinas de fuerza/potencia (CrossFit) comparado con disciplinas de resistencia aeróbica (ciclismo y maratón).

Este enfoque reconoce tanto la importancia de un perfil completo de aminoácidos esenciales —mayormente asociado a proteínas animales— como el aporte nutricional y los beneficios asociados a las proteínas vegetales, enfatizando la necesidad de un aporte proteico variado y equilibrado para maximizar el rendimiento y la recuperación atlética.

Consecuentemente, se prevé que los atletas de resistencia aeróbica que consumen proteína mixta, presentarán menores síntomas de fatiga post-ejercicio en comparación con aquellos deportistas que tomen proteína no combinada.

9. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS

La recogida de datos se llevó a cabo en el contexto deportivo real propio de cada disciplina, de manera que después de contactar y seleccionar los diferentes clubes deportivos, federaciones, asociaciones y entrenadores, se pidió la colaboración a los preparadores para realizar la toma de datos con los deportistas de las tres disciplinas escogidas.

Para asegurar la reproducibilidad y calidad de datos, se definieron unas instrucciones claras para la recogida de datos referidos al consumo diario de proteína y escalas visuales como guía para consignar la intensidad del entrenamiento y la fatiga muscular pre y post-entrenamiento.

Los datos recopilados de las encuestas se integraron en una base de datos en formato Excel, que contenía información sobre la modalidad practicada, el sexo, la edad, los días a la semana de entrenamiento, el tipo de proteína, la frecuencia de ingesta y la fatiga entre otros. Por otro lado, en la base de datos Excel de los diarios se incluyó la información referente al tipo y la cantidad proteica consumida diariamente, duración del entrenamiento, fatiga pre-entrenamiento y post-entrenamiento, intensidad y recuperación (obtenida mediante la diferencia entre los niveles de fatiga post y pre-entrenamiento del día siguiente).

Análisis descriptivo de la encuesta.

Debido a la amplitud de la encuesta y los datos recopilados, en este apartado se reflejarán sólo aquellos que han resultado más relevantes por haberse encontrado diferencias entre disciplinas en varios parámetros.

En relación con los resultados de ingesta de proteína según la modalidad practicada, los deportes de resistencia aeróbica presentan perfiles homogéneos en cuanto a la ingesta proteica que se ajustan a las recomendaciones científicas para estas disciplinas. En cambio, CrossFit presenta mayor diversidad en las dietas, y multideporte es el grupo más disperso con muestra elevada de vegetarianos. Todo ello da pie a pensar que los deportes de resistencia adoptan dietas validadas nutricionalmente, mientras que CrossFit y multideporte contienen población más dispuesta a experimentar alternativas dietéticas.

- Fatiga.

Los datos obtenidos de la duración de la fatiga según la modalidad practicada se muestran en la tabla 3. Los deportistas de Crossfit presentan un perfil más variado en comparación con ciclismo, donde el porcentaje de los que recuperan rápido es menor. Maratón presenta un balance intermedio entre 2-6 horas y un día. Multideporte destaca porque produce mayor fatiga por lo que el periodo de recuperación es mayor, posiblemente debido a que la carga de entrenamiento total sea mayor en este tipo de deportistas por norma general.

Disciplina	Menos de 1 hora	1-2 horas	2-6 horas	1 día	Más de 1 día	Variable	Total
CrossFit	22 (37.9%)	1 (1.7%)	5 (8.6%)	8 (13.8%)	2 (3.4%)	20 (34.6%)	58
Ciclismo	4 (13.3%)	1 (3.3%)	9 (30%)	9 (30%)	3 (10%)	4 (13.3%)	30
Maratón	4 (14.3%)	3 (10.7%)	8 (28.6%)	7 (25%)	1 (3.6%)	5 (17.8%)	28
Multideporte	4 (22.2%)	1 (5.5%)	3 (16.7%)	6 (33.4)	1 (5.5%)	3 (16.7%)	18
Total	34 (25.4%)	6 (4.5%)	25 (18.6%)	30 (22.4%)	7 (5.2%)	32 (23.9%)	134 (100%)

Tabla 3. Duración de la fatiga según la modalidad.

Los resultados de fatiga post-entrenamiento según el tipo de proteína consumida se contemplan en la figura 4. El grupo que consume proteína mixta muestra el mejor balance con 25.5% de recuperación rápida y solo el 6.6% de más de un día, todo ello evidencia la importancia de la ingesta proteica para acelerar la recuperación tras el ejercicio. Los que consumen proteína animal presentan valores constantes en todos los rangos de fatiga establecidos y los que toman vegetal a pesar de contar con poca muestra, recuperan bastante rápido en comparación con los otros dos deportes. Esta observación también parece desmentir nuestra hipótesis inicial, hecho que comprobaremos más adelante con la comparación entre grupos de los diarios.

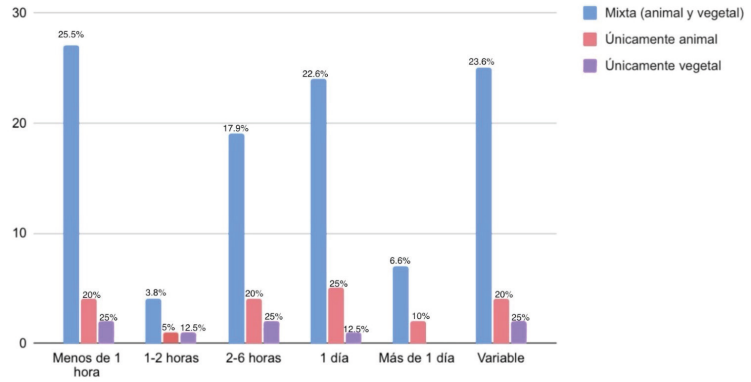


Figura 4. Duración de la fatiga según el tipo de proteína.

- Seguimiento nutricional.

Por otro lado, la tabla 4 muestra las distribuciones entre el seguimiento nutricional y el tipo de proteína ingerida, lo que indica que muy poca proporción de deportistas acuden a un profesional para gestionar su dieta, siendo en vegetal donde menor proporción de seguimientos nutricionales encontramos. Este dato explicaría nuestro razonamiento a la hora de presentar la hipótesis, ya que este tipo de alimentación sin un control adecuado puede conllevar una serie de deficiencias nutricionales que ya se han explicado en el marco teórico.

Tipo de dieta	No,con conocimientos	Sí, porfesional	Sí, autogestionado	No, sin conocimientos	Total
Mixta	57	24	4	15	100
Animal	12	5	0	4	21
Vegetal	6	2	0	0	8
Total	75	30	4	19	129

Tabla 4. Seguimiento nutricional.

9.1 Análisis estadístico.

Los resultados se presentan en forma de tablas y gráficas. Para analizar la relación entre variables cualitativas (tipo de dieta) y las variables ordinales categorizadas (niveles de fatiga, carga y recuperación), se empleó la prueba de Chi-cuadrado de Pearson mediante tablas de contingencia de dimensiones 3x3 y 4x3 según la disciplina. El nivel de significación se estableció en $p<0.05$. Los datos han sido tratados y analizados con el software estadístico libre Jamovi en su versión 2.6.44.0.

- Recuperación muscular.

Los resultados de recuperación en carrera, obtenidos mediante la diferencia entre los niveles de fatiga post y pre-entrenamiento del día siguiente, se recogen en la figura 5. Encontramos evidencia significativa con $p=0.018$, por lo que se pudo comprobar que aquellos que consumen proteína de fuentes vegetales poseen una recuperación más elevada en comparación con las otras dos

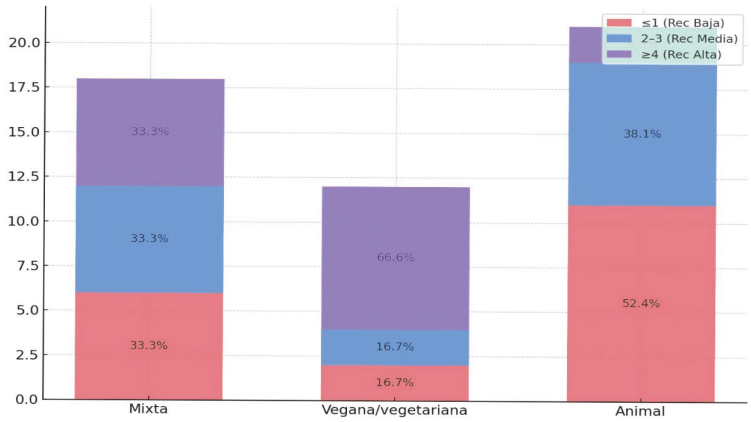


Figura 5. Recuperación en carrera.

En cuanto a las otras dos disciplinas, las variables no mostraron asociación significativa. En el caso de ciclismo, el valor de p fue de 0.192, y en CrossFit de 0.678, mucho más elevado. Estos valores podrían deberse a la alta variabilidad de valores entre los parámetros, lo que reduciría la asociación entre variables.

- Carga de entrenamiento.

Los datos obtenidos en carga de entrenamiento en carrera, recogidos en la figura 6, muestran una asociación significativa (p= 0.032), demostrándose que los deportistas que toman proteína de origen vegetal presentan mayor porcentaje de carga alta, mientras que la dieta mixta concentra los niveles más bajos de carga de entrenamiento.

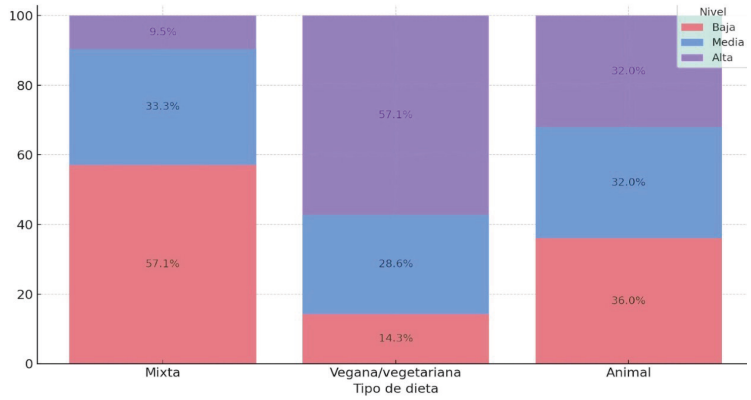


Figura 6. Carga de entrenamiento en carrera.

Se observaron también evidencias significativas (p= 0.023) en la carga de entrenamiento en los deportistas de CrossFit reflejadas en la figura 7. Se encontró que aquellos deportistas que toman proteína aislada, bien vegetal o animal, mostraron una mayor capacidad de soportar cargas altas en comparación con los que ingirieron mixta.

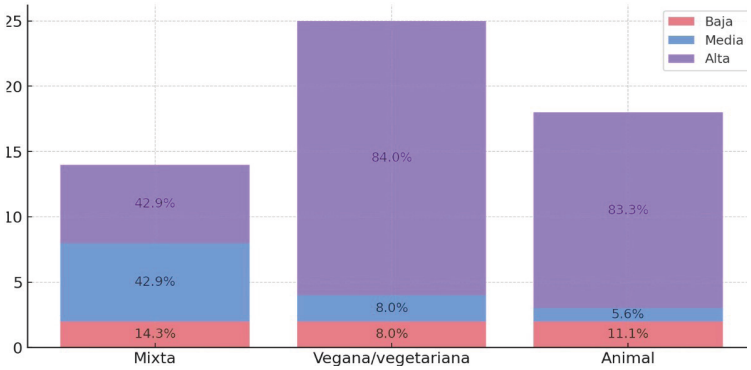


Figura 7. Carga de entrenamiento CrossFit.

Por otro lado, en ciclismo no se obtuvo relación entre estas dos variables (p=0.668), lo que podría deberse al tamaño muestral insuficiente o la variabilidad entre los deportistas que ingerían proteína vegetal frente a la menor muestra de los que tomaban mixta.

- Fatiga post-entrenamiento.

En cuanto a la fatiga post-entrenamiento, también se encontraron relaciones significativas (p= 0.005) en ciclismo. Se aporta la figura 8 para facilitar la comparación visual. Los resultados sugieren que aquellos que ingieren proteína vegetal presentan mayor fatiga post-entrenamiento, mientras que los que toman mixta reportan un nivel más bajo.

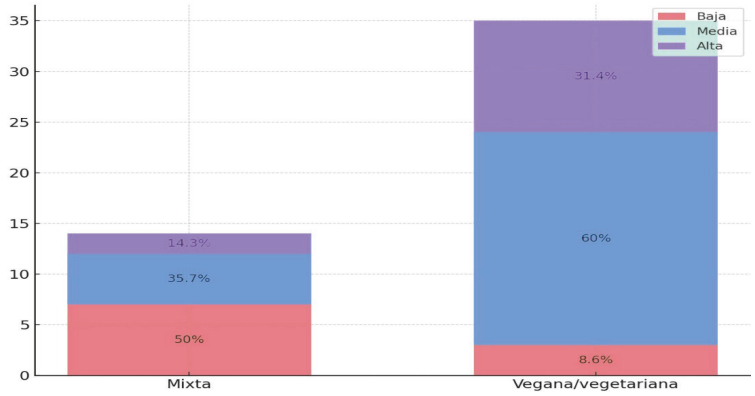


Figura 8. Fatiga post-entrenamiento en ciclismo.

Los resultados de fatiga post-entrenamiento en carrera, recogidos en la figura 9 muestran una asociación significativa (p=0.0028). Se observó que los corredores que ingieren proteína vegetal presentan una fatiga elevada en comparación con el resto, aunque CrossFit presenta mucha proporción en el rango de fatiga media.

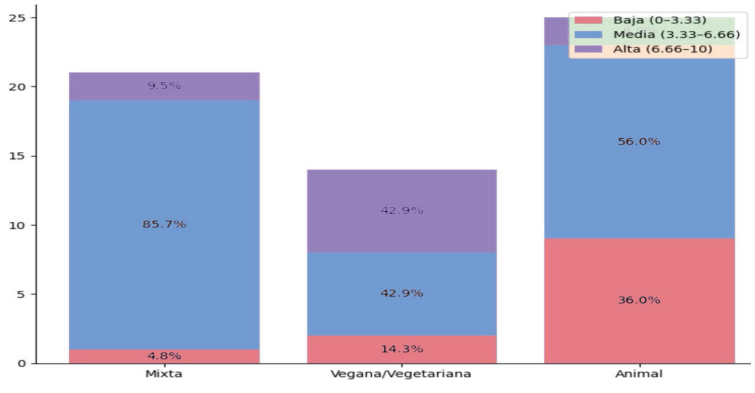


Figura 9. Fatiga post-entrenamiento en carrera.

En cuanto a la disciplina de fuerza/potencia, las variables no mostraron relación directa debido al alto valor de p (0.515). Esta falta de asociación podría deberse a que la diferencia encontrada es causada por el azar o por causa de la muestra y la dispersión entre los parámetros analizados.

- Requerimientos proteicos.

Se elaboró la tabla 5 para verificar si los deportistas alcanzaban los requerimientos proteicos establecidos para cada disciplina. En ella se observa que, en todos los casos, las dietas de origen vegetal quedan por debajo de las recomendaciones teóricas. Por lo tanto, debería compensarse mediante una mayor ingesta de proteínas de origen vegetal debido a la carencia de aminoácidos esenciales.

Tipo de dieta	Dieta	Proteína diaria (g)	Consumo proteína (g)	Requerimientos proteicos teóricos (g)	Situación
Carrera	Mixta	84.52 ± 22.25	1.36 ± 0.35	1.4-1.6	Ligeramente por debajo
Carrera	Animal	107.78 v 44.25	1.53 ± 0.47	1.4-1.6	Adecuado
Carrera	Vegetal	53.93 ± 17.23	1.01 ± 0.37	1.6-1.8	Muy por debajo
Ciclismo	Mixta	122.57 ± 11.24	2.17 ± 0.21	1.4-1.6	Muy por encima
Ciclismo	Vegetal	96.68 ± 27.58	1.49 ± 0.38	1.6-1.8	Ligeramente por debajo
CrossFit	Mixta	104.21 ± 8.98	1.84 ± 0.15	1.6-2.0	Adecuado
CrossFit	Animal	145. 28 ± 25.26	1.80 ± 0.33	1.6-2.0	Adecuado
CrossFit	Vegetal	103.52 ± 41.63	1.53 ± 0.54	1.8-2.2	Muy por debajo

Tabla 5. Requerimientos proteicos.

10. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten analizar la hipótesis inicial, que proponía que los diferentes patrones de consumo proteicos influirían de manera significativa en el rendimiento deportivo, fatiga post-ejercicio y recuperación, y que el patrón mixto beneficiaría a aquellas disciplinas de fuerza/potencia. Sin embargo, los hallazgos no afirman plenamente esta hipótesis, y en algunos casos la contradicen, mostrando que cada patrón proteico se asocia a respuestas distintas dependiendo de la disciplina.

Los datos nos muestran que los deportistas que ingieren exclusivamente proteína vegetal presentan una recuperación mayor en carrera (p=0.018) superando tanto a los patrones mixto como animal, hecho que no ha sucedido en las otras dos disciplinas y puede deberse a distintos motivos. La maratón suele generar más estrés oxidativo— desequilibrio entre radicales libres (moléculas inestables) y antioxidantes— antes que daño muscular severo como el ciclismo y el CrossFit y, dado que la proteína vegetal aporta muchos antioxidantes, podría explicar que la recuperación sea mayor en esta disciplina (Gomez-Cabrera et al., 2006).

En cuanto a la carga de entrenamiento se ha encontrado que en carrera los deportistas con consumo vegetal presentan los porcentajes más elevados, mientras que el mixto posee valores más bajos (p=0.032). De forma parecida, en CrossFit se observa una relación significativa (p=0.023) pero son consumidores de proteína aislada (animal o vegetal) quienes muestran mayor capacidad de soportar cargas de entrenamiento altas. Estos resultados concuerdan con los observados por Monteyne et al. (2023), que tampoco encontraron diferencias en el rendimiento en deportes de fuerza entre el consumo mixto y el exclusivamente vegetal. En conjunto, estos hallazgos van en contra de la hipótesis propuesta, y una posible explicación es que los deportistas que consumen proteína vegetal podrían estar entrenando con una percepción de esfuerzo mayor, lo que se traduciría en una fatiga post-entrenamiento más elevada. Esto coincide con que los atletas con ingesta vegetal reportan mayores niveles de fatiga tras la sesión, mientras que quienes consumen proteína mixta experimentan una recuperación más rápida y refieren menor fatiga. No obstante, esta mayor fatiga inicial en los deportistas con dieta vegetal podría ofrecerles un mayor margen de recuperación de cara al entrenamiento del día siguiente.

La hipótesis también planteaba que los deportistas de disciplinas aeróbicas que consumieran proteína mixta experimentarían menor fatiga post-ejercicio respecto a aquellos con consumo exclusivo vegetal o animal. No obstante, los resultados revelan que en ciclismo se encuentran diferencias significativas (p=0.005), pero en sentido inverso al propuesto. De manera congruente, en carrera se observa una asociación significativa (p=0.0028), donde nuevamente los consumidores de proteína vegetal presentan una mayor proporción de fatiga alta, mientras que el patrón mixto se distribuye más hacia niveles bajos o medios. Tanto en ciclismo como en carrera, estos resultados apoyan parcialmente la hipótesis, pero únicamente en lo relativo a que el patrón mixto reporta niveles menores de fatiga como reportan Ciuris et al. (2019) y Brennan et al. (2024); no así en lo referente a su supuesto efecto superior sobre el rendimiento o sobre la recuperación.

Una posible explicación de por qué los atletas veganos de resistencia sienten más fatiga después del entrenamiento se relaciona con varios factores nutricionales: niveles bajos de ciertos ácidos grasos esenciales (EPA y DHA), que provienen sobre todo de alimentos de origen animal y cuya conversión desde su versión vegetal (ALA) es limitada, lo que puede dificultar la recuperación muscular y la resolución de la inflamación; deficiencias o reservas insuficientes de vitaminas y minerales clave como hierro, vitamina B12, vitamina D, zinc, selenio o yodo, que reducen la capacidad de transportar oxígeno y aumentan la fatiga; y una ingesta de proteína total insuficiente o con un perfil de aminoácidos no óptimo, lo que limita la reparación y el crecimiento muscular tras el ejercicio (Bakaloudi et al., 2021; Lane et al., 2022; Fernández-Lázaro et al., 2024). En conjunto, esto sugiere que los atletas veganos deberían prestar atención no solo a la proteína, sino también a los omega-3 y micronutrientes, ya que estos contribuyen a una mejor recuperación y a la disminución de la sensación de fatiga entre sesiones de entrenamiento. En deportes de resistencia, una dieta basada en proteína vegetal bien planificada suele acompañarse de una elevada disponibilidad de carbohidratos complejos, lo que podría favorecer la reposición de glucógenos y, con ello, una mejor recuperación y tolerancia a cargas altas, incluso cuando la fatiga percibida tras los entrenamientos intensos es mejor, como muestran nuestros datos de ciclismo y carrera. Al mismo tiempo, no puede descartarse que un manejo inadecuado de la suplementación (por ejemplo, falta de B12, hierro o vitamina D) incremente el estrés oxidativo tras esfuerzos prolongados, contribuyendo a mayores niveles de fatiga en los patrones exclusivamente vegetales si la dieta no está correctamente ajustada para el entrenamiento (Thirupathi et al., 2021).

En cuanto a la ingesta proteica, se encontró una notable disparidad entre grupos. Los deportistas con dietas veganas o vegetarianas registraron un consumo claramente inferior a sus requerimientos teóricos, lo que pone de manifiesto un posible riesgo nutricional asociado a una ingesta insuficiente de aminoácidos esenciales. Sin embargo, no se observaron alteraciones en la recuperación muscular, la fatiga post-ejercicio ni en la carga muscular. Esto puede explicarse porque las recomendaciones proteicas son conservadoras y, en las dietas vegetales, la combinación y distribución de macronutrientes es diferente, con mayor proporción de carbohidratos, fibra y grasas, lo que favorece la disponibilidad energética y deja a las proteínas en un segundo plano. Además, la adecuada distribución de proteínas a lo largo del día y la capacidad del organismo para adaptar la utilización de aminoácidos permiten mantener la función muscular incluso con un aporte proteico menor, mientras que los efectos de déficits leves suelen manifestarse únicamente a largo plazo (Clarys et al., 2014; Dawczynski et al., 2022). En contraste, el grupo de ciclismo con patrón mixto superó de manera significativa su límite teórico, lo que sugiere una ingesta excesiva no necesaria para las demandas reales de la disciplina. Por último, los grupos de CrossFit con patrones mixto y animal, se situaron en torno a los valores recomendados, reflejando una adecuación proteica más ajustada a sus necesidades.

En conjunto, los resultados sugieren que la hipótesis se confirma solo parcialmente. Por un lado, sí se observa que el patrón mixto se asocia a una menor fatiga post-ejercicio, especialmente en disciplinas aeróbicas. Sin embargo, en contra de lo previsto, no es el patrón mixto sino el vegetal el que destaca en recuperación y tolerancia a cargas en carrera, mientras que en CrossFit la ventaja se desplaza hacia la proteína aislada, independientemente de su origen. Este resultado puede deberse a que las características de la disciplina hacen que la fuente proteica no sea determinante; de hecho, puede que la cantidad de proteína consumida sea más importante que la propia fuente. Aunque quienes ingieren proteína aislada presentan menor fatiga post-entrenamiento que los de proteína vegetal, no se han observado diferencias significativas. Por otro lado, en el caso del CrossFit, la aparente ventaja de los consumidores de proteína aislada frente a los de dieta mixta podría explicarse por la intensidad relativa del esfuerzo: los deportistas con un patrón dietético mixto, al disponer de una mayor densidad nutricional y energética, podrían sostener entrenamientos más intensos, lo que paradójicamente se traduce en una mayor percepción de fatiga aguda, no como signo de peor adaptación, sino como consecuencia de haber alcanzado un mayor umbral de esfuerzo físico gracias al soporte nutricional de su dieta. La ausencia de un patrón claro en CrossFit y la ventaja observada en consumidores de proteína aislada respecto a una menor fatiga post-ejerci-

cio, puede estar relacionada con la naturaleza intermitente y de alta intensidad de esta disciplina, donde los esfuerzos son explosivos y fraccionados, con pausas que permiten una recuperación parcial de fosfágenos y del pH muscular. En este contexto, el efecto de las diferencias en nutrientes entre patrones dietéticos podría quedar parcialmente enmascarado. Esto indica que la relación entre el tipo de proteína, el rendimiento y la recuperación es más compleja que la planteada inicialmente y que depende tanto de la disciplina como de la adecuación del aporte proteico total.

11. CONCLUSIONES

Se concluye que el tipo de proteína consumida por los deportistas influye de manera distinta en la recuperación, la fatiga y la capacidad para soportar carga según la disciplina deportiva. Hay indicios de que una adecuada alimentación basada en proteína vegetal puede ser suficiente para permitir la recuperación y tolerancia a la carga en deportes de resistencia, aunque su aporte insuficiente de aminoácidos esenciales podría explicar los mayores niveles de fatiga post-ejercicio observados en estos grupos. Por su parte, el patrón mixto se muestra más eficaz para reducir la fatiga en disciplinas aeróbicas, mientras que en deportes de fuerza y potencia, como CrossFit, parece que el patrón de consumo proteico no parece ser tan relevante como pensábamos en nuestra hipótesis. En conjunto, estos hallazgos parecen sugerir que no existe un patrón proteico universalmente superior, sino que el rendimiento y la recuperación dependen de la combinación entre tipo de proteína, cantidad ingerida y características específicas de cada disciplina. Esto subraya la importancia de adaptar la estrategia nutricional a las necesidades individuales y al contexto deportivo de cada atleta.

Como se ha demostrado con los resultados, el consumo proteico es menor en aquellos deportistas que ingieren proteína exclusivamente vegetal lo que puede relacionarse con la fatiga post-entrenamiento, pues todos muestran una elevada fatiga a pesar de que la recuperación parece ser adecuada. A partir de estos resultados, puede afirmarse que el objetivo principal del estudio se cumple parcialmente. Se observan diferencias claras entre patrones proteicos y disciplinas, pero no siempre en la dirección inicialmente prevista: el patrón mixto no resulta superior de manera global, sino únicamente en determinados indicadores (especialmente en la reducción de la fatiga en deportes aeróbicos), mientras que la proteína vegetal destaca en recuperación y tolerancia a la carga en carrera, y la proteína aislada muestra ventajas en CrossFit.

En cuanto a los objetivos secundarios, se confirman variaciones entre disciplinas en la relación entre tipo de proteína, recuperación y fatiga, así como diferencias relevantes en la cantidad total ingerida y su impacto sobre la fatiga. Por otro lado, el estudio evidencia que los deportistas que consumen proteína exclusivamente vegetal tienden a situarse por debajo de sus necesidades proteicas, en comparación con quienes siguen patrones animales o mixtos, lo que explica en parte la mayor fatiga observada en ciertas disciplinas a pesar de una buena recuperación percibida.

En conjunto, los objetivos planteados se consideran cumplidos, si bien los resultados ponen de manifiesto que la interacción entre tipo de proteína, cantidad ingerida y exigencias específicas de cada modalidad deportiva es compleja y multifactorial. Por ello, se recomienda plantear estrategias nutricionales diferenciadas según la disciplina y el patrón alimentario del atleta, priorizando tanto la cantidad como la calidad proteica en función de las demandas específicas del rendimiento.

12. DIFICULTADES ENCONTRADAS

Durante la elaboración de este trabajo de investigación se encontraron varias limitaciones, la primera fue la escasa cantidad de muestra de los distintos tipos de proteína en los diarios. Esto se debió, por un lado, a no haber contado con suficiente muestra de los dos tipos de proteína (animal y vegetal) por separado, lo que hubiera permitido realizar una comparación más objetiva; y, por otro lado, a las características tan específicas del estudio, lo que nos llevó a obtener resultados que deben interpretarse con precaución. Asimismo, una muestra de mayor tamaño habría permitido confirmar con mayor rigor los resultados obtenidos en relación con los requerimientos proteicos según la disciplina deportiva y el tipo de proteína consumida.

Otra limitación que encontramos fue la falta de compromiso y seriedad de algunos deportistas. Por un lado, algunos se habían comprometido previamente a participar, pero finalmente no lo hicieron. Por otro lado, entre los que sí completaron las encuestas, se observó falta de detalles e información, lo que afectó el análisis de los datos. De hecho,

tuvimos que descartar varias respuestas, especialmente en el bloque enfocado en la alimentación

La última dificultad encontrada fue el control de la dieta ya que las cantidades de proteína registradas podrían no reflejar con total precisión la ingesta real pues los propios deportistas anotaban su consumo de manera aproximada según los alimentos. Y, aunque habría sido posible obtener datos más objetivos mediante un seguimiento más exhaustivo como diferentes marcadores biológicos en sangre o pruebas de rendimiento, habría requerido un acceso mucho mayor a los deportistas y a material de investigación más avanzado, algo inviable en un proyecto de estas características.

13. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A raíz de este proyecto y las dificultades encontradas, han surgido otras ideas para futuros análisis. Primeramente realizar un estudio a un grupo de deportistas reducido alterando la dieta a seguir para comprobar la influencia que tiene cada una de ellas sobre el rendimiento deportivo.

La segunda sería comprobar si mediante el ajuste de la cantidad y el perfil de los aminoácidos de la proteína vegetal, mejora la recuperación y la fatiga post-entrenamiento se reduce en aquellas disciplinas de resistencia.

Una tercera idea de futura investigación que se propone es comprobar si aumentando la toma de suplementos en dietas veganas/vegetarianas se consigue el perfil proteico adecuado y se reduce la fatiga.

La siguiente línea que se plantea es estudiar si mediante la combinación de diferentes tipos de proteína y otros nutrientes como los carbohidratos o las grasas se optimiza la recuperación muscular y se reduce la fatiga.

La última línea de investigación que se propone es comprobar si la cafeína influye en deportes de resistencia aeróbica en variables como la RPE, mejorando el rendimiento y retrasando la fatiga.

14 GLOSARIO

En este apartado se desarrollarán palabras más técnicas de la investigación.

- **Ácidos poliinsaturados:** grasas que el cuerpo no puede fabricar y son importantes para el cerebro o el crecimiento celular, se encuentran en el omega-3 y en sus derivados.
- **Calistenia:** sistema de entrenamiento que utiliza el propio peso corporal para realizar los ejercicios.
- **Electrolitos:** minerales con carga eléctrica que se disuelven en los fluidos corporales y cumplen funciones como el equilibrio de líquidos o la contracción muscular.
- **Fibras musculares:** células de los músculos que permiten su movimiento mediante la contracción.
- **Fosfágenos:** Compuestos que las células utilizan para almacenar energía que se libera de manera rápida, siendo esencial para ejercicios de alta intensidad.
- **Hipertrofia:** crecimiento de fibras musculares tras su ruptura y la posterior reparación del tejido, provocado tras grandes esfuerzos.
- **Lactato:** compuesto producido tras la descomposición de la glucosa durante ejercicios de alta intensidad, lo que indica que se ha alcanzado el nivel anaeróbico.
- **Metabolismo aeróbico:** proceso que utiliza oxígeno para poseer energía mientras se realizan esfuerzos de alta intensidad durante un periodo largo de tiempo.
- **Metabolismo anaeróbico:** proceso en el cual se fabrica energía sin utilizar oxígeno, se da en periodos cortos de mucha intensidad.
- **Micronutrientes:** vitaminas y minerales que necesita el organismo en pequeñas cantidades para poder funcionar correctamente.
- **Resistencia aeróbica:** capacidad de mantener durante un periodo de tiempo la intensidad de un esfuerzo físico. Deportes como ciclismo, maratón o natación se caracterizan por ello.

15. BIBLIOGRAFÍA

16. ANEXOS

Disponibles desde este código QR

“El aire que respiramos”

Víctor Castro Poveda
Tutora: Irene Nieto Cerezo

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han participado y me han ayudado en este trabajo. Todas aquellas han tenido un papel fundamental para hacer posible la realización de este proyecto de investigación.

A mi tutora Irene Nieto, por su disponibilidad y proposición de ideas que han ayudado mucho a mejorar el proyecto. Además por solventar todas las dudas surgidas a lo largo de todo este tiempo.

A mis padres, por su apoyo incondicional. En específico a Lucas Castro que, gracias a su ayuda en los campos de medioambiente y tecnología, me ha ayudado en muchos aspectos, tanto para enriquecer el marco teórico como para solventar algunos problemas durante la experimentación.

A mi hermano, Andrés Castro, por su apoyo e ideas proporcionadas que han servido como fuente de inspiración. También por su disposición para ayudar siempre que ha sido requerido y por su ayuda para facilitar el análisis de datos.

Y, por último, a mis amigos y compañeros, sobre todo a Marcos Miguel y a Adrián Miguel, que siempre han estado por la labor de resolver todas las preguntas y se han interesado por tratar de ayudar con todo lo que podían.

A todos ellos, gracias por acompañarme y por hacer más llevadero este camino.

ÍNDICE

1. Resumen.....134
2. Abstract.....134
3. Justificación.....134
4. Hipótesis y objetivos.....134
4.1 Hipótesis.....134
4.2 Objetivos.....135
4.2.1 Objetivos principales.....135
4.2.2 Objetivos secundarios.....135
5. Metodología.....135
6. Marco teórico.....135
6.1 Contaminantes atmosféricos.....135
6.1.1 Óxidos de nitrógeno (NOX).....135
6.1.2 Dióxido de carbono (CO2).....136
6.1.3 Monóxido de carbono (CO).....136
6.1.4 Partículas en suspensión (PM).....137
6.1.5 Ozono (O3).....137
6.2 Efectos de la contaminación.....138
6.2.1 Efecto invernadero.....138
6.2.2 Lluvia ácida.....138
6.2.3 Smog (esmog) fotoquímico.....139
6.3 Lugares de medición.....139
6.3.1 Según el lugar.....139
6.3.2 Según circunstancias ambientales.....140
6.4 Tecnología Arduino.....140
7. Experimentación.....141
7.1 Fabricación del instrumento de medida.....141
7.1.1 Sensores.....141
7.1.2 Familiarización con Arduino y con los sensores.....142
7.1.3 Calibración de los sensores.....143
7.1.4 Integración de los sensores.....143
7.2 Programación de las placas.....145
7.2.1 Códigos de calibración.....145
7.2.2 Códigos de prueba de mediciones.....145
7.2.3 Códigos finales de mediciones.....146
7.3 Puesta en marcha del equipo.....147
7.4 Análisis de los datos obtenidos.....148
7.4.1 Comparativa zona urbana vs. zona rural (en ppb).....148
7.4.2 Comparativa interiores y exteriores.....148
7.4.3 Comparativa con datos con oficiales.....148
7.5 Índice de confianza.....149
8. Conclusiones.....150
8.1 Limitaciones.....150
8.2 Conclusiones.....151
9. Próximas líneas de investigación.....151
10. Bibliografía.....151
11. Anexo. Códigos.....152

1. Resumen

Este proyecto tiene como propósito desarrollar un dispositivo de medición ambiental equipado con sensores de bajo coste, capaz de obtener datos fiables sobre la concentración de distintos gases presentes en la atmósfera. Para ello, se empleó la plataforma Arduino, con la que se diseñaron tanto los circuitos electrónicos como los programas necesarios para el funcionamiento de cada sensor. Los contaminantes analizados fueron CO_2, CO, O_3, NO_2 y material particulado PM2.5 y PM10.

En primera instancia, se construyeron los dispositivos de medición y se llevó a cabo la calibración individual de cada sensor. Posteriormente, se desarrollaron los códigos de programación destinados a registrar la concentración de los distintos gases. Las mediciones se realizaron en diversos entornos, permaneciendo aproximadamente una semana en cada uno. Finalmente, los datos obtenidos se analizaron y compararon con las estadísticas oficiales proporcionadas por la Comunidad de Madrid.

Los resultados obtenidos mostraron algunas discrepancias en los valores absolutos registrados por los sensores; no obstante, se observó que sí reproducían correctamente las variaciones de concentración en función del entorno y de las condiciones atmosféricas.

En conclusión, el proyecto demuestra que estos sensores de bajo coste pueden considerarse fiables para analizar las variaciones en la concentración de contaminantes atmosféricos y, tras una calibración adecuada con patrones de referencia, también son válidos para obtener mediciones en tiempo real con suficiente precisión.

2. Abstract

This project aims to develop a measurement device equipped with low-cost sensors capable of reliably detecting the concentration of various atmospheric gases. Arduino technology was used to design both the electronic circuits and the programming required for each sensor. The pollutants analyzed were CO_2, CO, O_3, NO_2, and particulate matter PM2.5 and PM10.

First, the measurement devices were built and each sensor was individually calibrated. The corresponding programming codes were subsequently developed to enable the measurement of gas concentrations. Data collection was carried out in different environments, with approximately one week of measurements in each location. Finally, the data were analyzed and compared with the official statistics provided by the Community of Madrid.

The results revealed certain discrepancies in the absolute values recorded by the sensors; however, they did accurately reflect variations in pollutant concentrations according to environmental and atmospheric conditions.

In conclusion, the project demonstrates that these low-cost sensors are reliable for analyzing variations in atmospheric pollutant levels and, when properly calibrated using reference standards, they can also provide accurate real-time concentration measurements.

3. Justificación

La decisión de elegir este tema para investigar viene impulsada por el reciente aumento del cambio climático y mi interés por el medioambiente. Existe una relación clara entre los compuestos contaminantes en la atmósfera y la subida de la temperatura global, mayoritariamente por el CO_2 que es gas de efecto invernadero.

Por otra parte, también existen compuestos que son tóxicos para los humanos, y me interesaba investigar los más comunes presentes en la atmósfera y considerar si estos realmente conllevan un peligro real para nosotros. Así se podría ver en qué zonas hay una concentración lo suficientemente alta para que fuera un problema y considerar tomar acción.

Además, el uso de esta tecnología suele ser de alto costo y quería intentar diseñar un instrumento que fuera accesible y sencillo para la utilización de todo el mundo y capaz de ser utilizado en centros educativos; así se podría acercar esta tecnología a la educación y enseñar que puede ser aplicada a efectos prácticos.

4. Hipótesis y objetivos

4.1 Hipótesis

Es posible fabricar aparatos de medida con sensores de bajo costo que sean fiables para medir la concentración de gases y avisar de peligro en caso de superar ciertos valores.

4.2 Objetivos

4.2.1 Objetivos principales

Este proyecto pretende conseguir los siguientes objetivos:

- Desarrollar aparatos de medida para la recogida de datos: esto implica la fabricación de sensores que puedan dar valores de concentración y crear un código para ser capaz de interpretar los datos.
- Medir la concentración en la atmósfera de diferentes compuestos: los compuestos que se van a medir son CO_2, CO, O_3, óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas PM 2.5 y PM 10.
- Analizar la variación de estos contaminantes dependiendo del entorno (en interior, exterior, zona urbana, zona rural).

4.2.2 Objetivos secundarios

- Predecir con una IA si los efectos en un futuro serán más o menos graves que actualmente: introducir los datos obtenidos este año y más datos que hayan de otros años y ver si la IA predice si el futuro va a ser mejor o peor respecto a este tema
- Fomentar la integración de esta tecnología de bajo coste y sensibilizar sobre la contaminación atmosférica.

5. Metodología

Se iniciará con una fase de investigación en la que se recopilará información sobre los principales gases contaminantes presentes en la atmósfera y sus efectos negativos sobre el ecosistema y el cuerpo humano. Esos gases serán CO_2, CO, O_3 y material particulado (PM1.0, PM2.5 y PM10).

Se continuará con un análisis de mercado buscando los mejores sensores relación calidad/precio, compatibles con Arduino, para la medición de cada uno de estos contaminantes. Para ello se valorará que sean accesibles y tengan buenas valoraciones.

A continuación, se diseñará el instrumento de medida con los sensores integrados a una placa Arduino. Este aparato estará alimentado por una batería y tendrá un LED que se encenderá cuando los valores dados por los sensores superen una cierta cantidad. También se deberá diseñar un código de programación en Arduino para ser capaces de interpretar la información de los sensores.

Después, se procederá a medir los gases en distintos lugares, siendo estos en lugares cerrados y con distinta actividad en el interior de estos como viviendas, clases, gimnasios… y en lugares abiertos, también distintos entre sí, como zonas urbanas y ambientes naturales.

Próximamente, se compararán los valores obtenidos con datos oficiales de la Comunidad de Madrid y los valores máximos recomendada para comprobar si estos sensores funcionan correctamente.

Por último, se valorarán los resultados extraídos y se analizará si son coherentes; así será posible falsar la tesis o corroborarla.

6. Marco teórico

Para entender este proyecto es importante saber los diferentes gases que se encuentran en la atmósfera y saber cuál es su efecto para el medioambiente y el organismo humano.

6.1 Contaminantes atmosféricos

Hay muchos tipos de contaminación. Puede ser obvio, como tirar plásticos al mar, lo que provoca que los peces se atraganten con estos. Pero puede ser más subjetiva, por ejemplo cuando se trata de una discoteca con música muy alta a altas horas de la madrugada. Para algunos, esa música es un entretenimiento, pero para otros eso mismo es un ejemplo de contaminación acústica. Muchas veces el factor determinante para que algo se considere contaminación radica en la cantidad, el lugar o la hora. Por esto, la Comisión Europea define *contaminante* de la siguiente manera: “una sustancia química o energía que se encuentra en un medio al cual no pertenece o que lo hace a niveles que pueden causar efectos adversos para la salud o el medio ambiente”.

Por otra parte, para el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, la *contaminación atmosférica* es “la presencia en el aire de materias, sustancia o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para personas, medio ambiente y demás bienes”. Teniendo esto claro, a continuación trataremos los contaminantes químicos más presentes en la atmósfera.

6.1.1 Óxidos de nitrógeno (NOX)

Este término engloba todos los óxidos de nitrógeno que son el N_2O, NO, NO_2^- y NO_3^-.

A) N_2O

El N_2O se genera de forma natural en zonas agrícolas debido al proceso de desnitrificación que llevan a cabo los microorganismos del suelo. Estos organismos usan las sustancias del suelo como fuente de energía y de carbono y gracias a unas enzimas, que catabolizan el proceso, los nitratos se van reduciendo hasta llegar a nitrógeno molecular. El proceso sería de la siguiente manera:

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow \mathbf{N_2O} \rightarrow N_2$$

Este compuesto es un gas de efecto invernadero al cual se le atribuyen el 5% total actualmente. Además, afecta a la capa de ozono debido a que reacciona con este dando O_2 y NO.

Es dañino para el organismo ya que cuando se inhala, afecta a las vías respiratorias y afecta al funcionamiento normal de las neuronas haciéndolas más lentas. Si se inhala en una alta concentración durante una exposición prolongada puede causar analgesia, excitación, anestesia quirúrgica (en la que se experimenta pérdida de la conciencia y amnesia) o depresión total del sistema respiratorio (que sin apoyo artificial, provoca un estado de coma y la muerte). (©PRTR-España, n.d.)

B) NO, NO_2^- y NO_3^-

El NO es producido principalmente por las acciones humanas, debido a la combustión a altas temperaturas, como pueden ser los combustibles de los automóviles, centrales eléctricas u otras fuentes comerciales e industriales.

También tiene fuentes naturales como es la actividad bacteriana, los incendios forestales o la actividad volcánica. De estas fuentes se emiten muchos menos óxidos de nitrógeno que de las fuentes antropogénicas.

Este, cuando llega a la atmósfera, reacciona con el oxígeno produciendo NO_2^- y NO_3^-, los cuales contribuyen a la formación de ozono fotoquímico (niebla contaminante) y al calentamiento global.

Además, los nitratos (NO_3^-) se unen con otros compuestos de la atmósfera formando HNO_3, uno de los ácidos que provocan la lluvia ácida, la cuál puede ser muy dañina para los entornos naturales e incluso para los edificios.

Sobre el organismo también tiene muchos efectos perjudiciales, ya que al inhalarlo en altas concentraciones puede provocar un edema pulmonar muy rápidamente. Aparte, es una sustancia corrosiva para la piel y el tracto respiratorio, generando quemaduras cutáneas y enrojecimiento.

6.1.2 Dióxido de carbono (CO_2)

El CO_2 es un gas que se forma de la combustión de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural). Este gas no es tóxico directamente para el ser humano en la respiración, de hecho esta contiene bastante CO_2 resultante de la respiración celular. Empezaría a ser preocupante si superará una concentración de 40 000 partes por millón (ppm) o si estuviera en un 5% en el aire que respiramos, pero aún estamos lejos de llegar a esas cifras. Según la última medición de la NASA de marzo de 2024 en Hawaii, actualmente hay una concentración de 428 ppm.

El CO_2 es preocupante para el planeta, dado que es el principal gas de efecto invernadero (GEI). Los GEI son necesarios porque calientan el planeta, de hecho sin estos GEI la temperatura media de la Tierra estaría en torno a -18 ºC. El problema es que la cantidad que hay actualmente en la atmósfera empieza a ser un riesgo para el medio ambiente y la tendencia sigue siendo la misma. De hecho, cada año la concentración de CO_2 es mayor (figura 1).

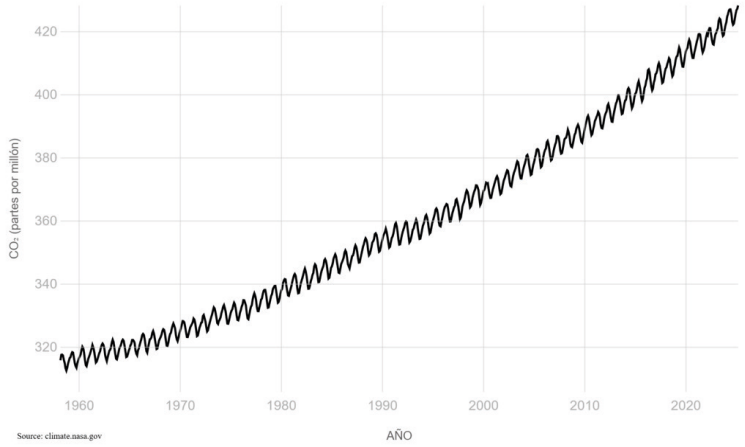


Figura 1. **Mediciones directas de CO_2**. Fuente: https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/dioxido-de-carbono/?intent=111

6.1.3 Monóxido de carbono (CO)

El CO se produce mayoritariamente debido a la combustión incompleta de combustible. En la combustión no se llega a formar el CO_2, y termina expulsando a la atmósfera CO.

El principal problema del CO es su gran afinidad por la hemoglobina de nuestra sangre, que es aproximadamente

210 veces mayor a la del O_2. La oxihemoglobina (Hb-O_2) es la principal forma de transporte del O_2 hacia las células. Si inhalamos CO, este desplaza al oxígeno de la hemoglobina y forma carboxihemoglobina (Hb-CO), como se puede ver en la figura 2. En este supuesto el oxígeno no llegaría a las células, sino que llegaría CO, el cuál no es válido para la respiración celular lo que causaría una intoxicación de CO y la muerte.

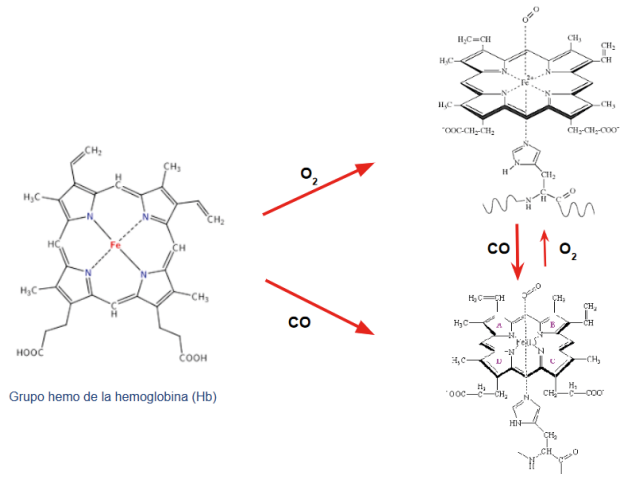


Figura 2. **Reacciones del grupo hemo con O2 y CO**
Fuente: elaboración propia.

Dado que se sabe la principal fuente del CO y es humana, se ha buscado la manera de reducir esa emisión a la atmósfera usando una mezcla de metales que actúan como catalizador haciendo que la reacción se haga por completo y se emita a la atmósfera CO_2 en lugar de CO.

6.1.4 Partículas en suspensión (PM)

Son pequeñas partículas sólidas o líquidas presentes en el aire. Reciben la abreviatura PM debido a los términos anglosajones particulate matter (material particulado). Se clasifican debido a su tamaño, que pueden ser PM10 o PM2.5, o debido a su origen, que pueden ser primarias (origen antropogénico o natural) o secundarias (formadas a partir de reacciones químicas en la atmósfera).

A) PM10smog

Son partículas que no superan un tamaño de 10 micras de diámetro y son respirables. Son sólidas o líquidas y provienen del polvo, del hollín, de las cenizas, del cemento, de partículas metálicas o del polen. Si estamos expuestos de forma prolongada a estas partículas, podríamos sufrir efectos dañinos en el sistema respiratorio, aunque no penetra en los pulmones ya que es atrapada en la capa mucosa de las vías respiratorias superiores. La exposición a estas partículas no debe superar las medidas que establece la Directiva 2008 / 50 / CE que son las que se muestran en la tabla 1.

	Tiempo de promedio	Valor límite (microgramos por metro cúbico) (µg/m3)
Valor límite diario (VLD) para la protección de la salud humana	24 horas	50 que no podrán ser superados en más de 35 ocasiones al año
Valor límite anual (VLA) para la protección de la salud humana	1 año	40

Tabla 1. **Valor límite de las PM10**

B) PM2.5

Son partículas en suspensión cuyo diámetro es menor a 2.5 micras. Suelen estar formadas por compuestos orgánicos e inorgánicos (nitratos, carbonatos, sulfatos, metales pesados…). Estas partículas suelen provenir de la actividad humana, principalmente debido a la combustión y a la acción de los frenos. Al ser partículas más pequeñas y ligeras pueden permanecer más tiempo en la atmósfera y viajar distancias más grandes. Además estas partículas no quedan retenidas en la capa mucosa cuando las inhalamos pudiendo penetrar en los alvéolos pulmonares y agravando patologías o provocando la muerte. La exposición recomendada es la que se muestra en la tabla 2.

	Tiempo de promedio	Valor límite (µg/m3)
VLA para la protección de la salud humana	1 año	20

Tabla 2. **Valor límite de las PM2.5**

6.1.5 Ozono (O_3)

El ozono es un compuesto formado por tres átomos de oxígeno y es muy oxidante. Sin embargo, siempre hemos escuchado que es un problema enviar gases a la atmósfera porque se destruye la capa de ozono. Entonces, ¿el ozono es bueno o malo?

Por una parte, la capa de ozono se encuentra en la estratosfera. Aquí se concentra el 90% de ozono de la atmósfera. La capa de ozono absorbe los rayos ultravioleta (UV) del sol

que contienen una radiación altamente peligrosa y atenúa los efectos de estos rayos sobre los seres vivos de la Tierra. Si se destruye esta capa, los seres vivos estaríamos unas 70 veces más expuestos a la radiación solar provocando muchas más quemaduras solares y cánceres de piel. (Flores, 2023)

Por otra parte, el otro 10% del ozono está en la troposfera y se denomina ozono troposférico. Este es el gas nocivo dado que es muy oxidante y es el que origina el *esmog fotoquímico*. Estamos continuamente en contacto con el ozono troposférico lo que causa que tengamos irritación ocular y problemas respiratorios, aparte de que daña la vegetación y degrada materiales como el caucho aunque se encuentre en bajas concentraciones.

El ozono es un contaminante secundario ya que se forma a través de dos reacciones químicas que vienen de los NOx y compuestos orgánicos volátiles (VOC), mediante las siguientes reacciones:

$$NO_2 \rightarrow NO + O$$
$$O + O_2 \rightarrow O_3$$

El resto de NOx y los COV contribuyen a la formación del NO_2. Además hay una reacción que destruye el ozono que es la siguiente:

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O2$$

Debido a está reacción el ozono troposférico está más concentrado en zonas rurales que en zonas urbanas porque en las ciudades hay más emisiones de NO del combustible de los vehículos.

6.2 Efectos de la contaminación

6.2.1 Efecto invernadero

El efecto invernadero ocurre debido a que la radiación solar penetra por la atmósfera debido a que la frecuencia de onda de esta es muy baja, pero cuando la Tierra refleja esta radiación lo hace con una frecuencia de onda mayor, la cual es atrapada por algunos gases de la atmósfera como el CO_2, el metano (CH_4), el N_2O y el vapor de agua (H_2O). Estos son capaces de absorber y emitir radiación infrarroja. Los GEI se diferencian entre sí por su capacidad para absorber o dispersar energía (eficiencia radiativa) y por su duración en la atmósfera (tiempo de vida). La acción humana ha interferido drásticamente en los últimos años emitiendo cada vez más cantidad de estos gases y la consecuencia final es el calentamiento global.

La temperatura media del planeta sin una atmósfera gaseosa sería de -13ºC. A esta temperatura no podría existir agua líquida y no sobreviviríamos. No obstante, esto no es así, sino que existe una atmósfera que posee GEI los cuáles elevan la temperatura del planeta a 15 ºC, una temperatura óptima para vivir. El problema radica en que el planeta cada vez se está calentando más y de manera más rápida. Como podemos ver en la figura 3, desde el año 2000 la temperatura siempre ha sido más de 0,5 ºC por encima de lo esperado y la tendencia está siendo cada vez mayor. También se observa que en los últimos años siempre la temperatura media anual ha estado por encima de 1ºC del promedio preindustrial (1850-1900).

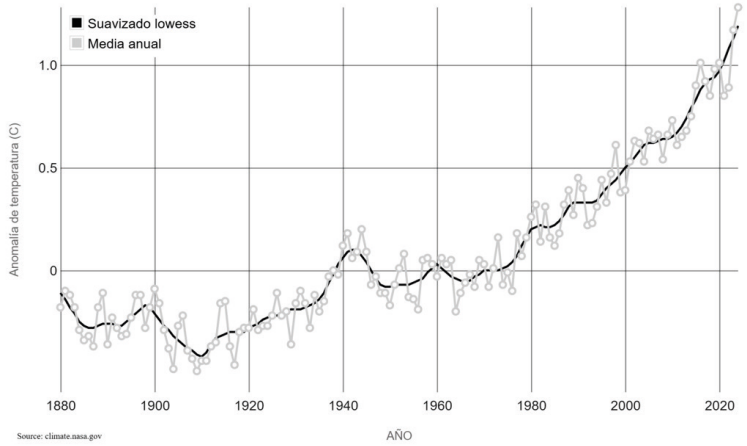


Figura 3. **Anomalía térmica global**. Fuente: https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/temperatura-global/?intent=111

6.2.2 Lluvia ácida

La lluvia ácida es cualquier precipitación caracterizada por su acidez, reflejada en un pH bajo. El pH normal del agua de lluvia suele ser un poco ácido, con valores entre 5,5 y 6, sin embargo, en la lluvia ácida el pH se encuentra entre 4,2 y 4,5. La lluvia ácida puede ser provocada naturalmente o por la acción humana.

En el primer caso, ocurre cuando un volcán entra en erupción y emite dióxido de azufre (SO_2). Este reacciona con el ozono y el oxígeno del aire para dar trióxido de azufre que reacciona con el agua precipitada (ya sea en forma de lluvia o nieve) y produce ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Cuando es de origen antropológico, viene dada por la combustión de combustibles fósiles, que producen óxidos de nitrógeno (NO y NO_2) que al reaccionar con la humedad

producen ácido nítrico (HNO_3). El principal problema de esta lluvia es que, a diferencia de la de origen natural, está globalizada y tiene efectos en todo el planeta.

En el medio ambiente, causa daños a las tierras de cultivos ya que arrastra los nutrientes presentes en estas y es capaz de disolver metales pesados y llevarlos a las aguas subterráneas, donde se acumulan. Por otra parte, daña las plantas debido a los efectos abrasivos del ácido lo que las deja más vulnerables ante parásitos e inclemencias meteorológicas como sequías. Además, se está produciendo una acidificación de los océanos y esto daña a muchas especies con exoesqueletos que no soportan la acidez, dejándolos desprotegidos.

Para los humanos, la lluvia ácida está relacionada con mayor ratio de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, lo que da lugar a una menor esperanza de vida. Aparte, muchas ciudades son dependientes de las aguas subterráneas, y la acumulación de metales pesados como el cadmio y el mercurio, puede provocar enfermedades renales y neurológicas, respectivamente.

6.2.3 *Smog* (esmog) fotoquímico

El smog (combinación entre *smoke*, humo, y *fog*, niebla) fotoquímico es un tipo de contaminación atmosférica compuesta, principalmente, por óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y metano. Suele tener lugar en ciudades grandes y durante periodos anticiclónicos largos ya que se produce un estancamiento de aire. Se aprecia a simple vista a lo lejos como una gran burbuja de aire sucio que dificulta la visibilidad.

Este tipo de contaminación tiene varios efectos negativos para el medioambiente.

En primer lugar contribuye al calentamiento global debido a que ayuda a almacenar gases de efecto invernadero y, aunque reduce la radiación solar, impide que el calor se escape hacia el exterior.

Aparte, las partículas que forman el *smog* fotoquímico producen una disminución de las precipitaciones, lo que lleva a un efecto de retroalimentación entre la lluvia y la contaminación porque imposibilita la reducción de esta capa por arrastre.

Por último, tiene un efecto negativo sobre las plantas ya que las vulnera frente a plagas e inclemencias meteorológicas y las reduce su capacidad fotosintética.

Sobre el cuerpo humano provoca una serie de problemas respiratorios y cardiovasculares. Entre otros problemas se encuentran la irritación de las vías respiratorias, mayor probabilidad de contraer enfermedades pulmonares crónicas como el asma, un empeoramiento de las alergias y mayor facilidad para la aparición de anemias.

6.3 Lugares de medición

Para comprobar también la fiabilidad de los sensores, ha sido necesario medir la contaminación en diferentes lugares y que esta variará de forma coherente. Se pensó en medir en distintos lugares donde, en principio, tendría que haber más o menos concentración de diferentes gases. Los lugares escogidos fueron en una casa, al aire libre en un pueblo, al aire libre en una ciudad, en un gimnasio comercial, en una montaña y en un cuarto de caldera.

6.3.1 Según el lugar

Interior de una vivienda en zona rural

Espacio cerrado, poca ventilación y presencia de personas.

- **CO_2:** muy alto. Varía conforme la gente que haya y la ventilación. Puede superar 2000 ppm con mala ventilación y durmiendo.
- **CO:** muy bajo, salvo combustión ineficiente (estufas, braseros, calefacciones antiguas).
- **NO_2:** bajo, excepto si se cocina con gas o hay estufas que queman combustible.
- **O_3:** muy bajo. El ozono se destruye rápido en interiores.
- **PM:** moderado-bajo, excepto si se cocina, se limpia con polvo o entra contaminación exterior.

Gimnasio comercial

Mucho movimiento de personas y, a veces, poca ventilación.

- **CO_2:** alto-muy alto. Puede superar 2000–3000 ppm en horas punta debido a la respiración intensa.
- **CO / NO_2:** muy bajos si no hay fuentes de combustión.
- **O3:** muy bajo. Igual que en la casa.
- **PM:** moderado. El movimiento puede levantar polvo; depende de la ventilación y limpieza.

Aire libre en pueblo

Menos tráfico y menos industria.

- **CO_2:** ligeramente por encima del fondo natural (420–450 ppm).
- **CO:** bajo.

- **NO_2:** bajo-moderado (si hay tráfico local).
- **O_3:** moderado-alto. En zonas rurales puede acumularse más porque NO_2 urbano lo destruye.
- **PM:** bajo-moderado, aunque pueden subir en épocas agrícolas (quemas, polvo, tractores).

Aire libre en ciudad
Tráfico, industria y actividad humana intensos.

- **CO_2:** más alto (450–500+ ppm).
- **CO:** moderado, especialmente en calles con tráfico denso.
- **NO_2:** alto. Uno de los contaminantes más característicos del tráfico.
- **O_3:** variable. En el centro de la ciudad suele ser más bajo porque el NO lo destruye. Aumenta en barrios periféricos.
- **PM:** alto, especialmente en avenidas, zonas industriales y en momentos de alto tráfico.

Montaña
Media altitud, zonas naturales

- **CO_2:** muy bajo, cercano a niveles atmosféricos puros (410–420 ppm).
- **CO:** muy bajo.
- **NO_2:** muy bajo.
- **O_3:** alto. En zonas altas es común que el ozono troposférico se acumule (procedencia estratosférica y transporte regional).
- **PM:** muy bajas, excepto polvo natural (polvo sahariano en periodos puntuales).

Cuarto de caldera (caldera a gas, gasoil o biomasa)
Entorno con combustión activa.

- **CO_2:** alto. Por la combustión del combustible.
- **CO:** puede ser muy alto y peligroso si hay mala ventilación o combustión ineficiente.
- **NO_2:** alto, generado por la combustión a alta temperatura.
- **O_3:** muy bajo, el ozono no se produce en combustión y se destruye fácilmente.
- **PM:** puede ser muy alto si hay combustión de biomasa, hollín o fugas.

6.3.2 Según circunstancias ambientales

Lluvia

- **CO_2 y CO:** cambios pequeños, aunque en ciudades puede bajar un poco por reducción del tráfico.
- **NO_2:** disminuye, la lluvia lo disuelve parcialmente
- **O3:** disminuye, menos radiación solar y más humedad → menos formación.
- **PM:** disminuye fuertemente. La lluvia limpia el aire.

Vientos fuertes

- **Todos los contaminantes:** generalmente disminuyen por dispersión.

Incendios forestales o quemas agrícolas

- **CO_2:** sube por emisión de biomasa.
- **CO:** sube, producto típico de combustión incompleta.
- **NO_2:** sube moderadamente.
- **O_3:** aumenta con retraso (fotoquímica a partir de CO y NOx).
- **PM:** suben muchísimo (principal efecto).

Tráfico intenso

- **CO_2:** aumenta notablemente
- **CO:** alto (especialmente en horas punta).
- **O_3:** baja en el centro, aumenta en la periferia.
- **NO_2:** muy alto.
- **PM:** alto, por frenos, neumáticos y combustión.

Días calurosos y soleados

- **CO_2 y CO:** poco afectados.
- **O_3:** aumenta mucho, porque la luz solar favorece la reacción fotoquímica
- **NO_2:** puede bajar ligeramente porque se transforma.
- **PM:** variable; puede aumentar por polvo en suspensión.

Estabilidad atmosférica, niebla e inversiones térmicas

- **Todos los contaminantes:** en las ciudades aumentan, debido a que quedan atrapados. Especialmente **PM** y **NO_2**.

6.4 Tecnología Arduino

Arduino es una plataforma de hardware y software libre diseñada para facilitar la creación de proyectos electrónicos interactivos. Está compuesta por dos elementos principales: placas de desarrollo y el Arduino IDE.

Las placas de desarrollo son placas de circuito integrado programables que llevan integradas un microcontrolador capaz de procesar información e interactuar con dispositivos externos.

El Arduino IDE es un entorno de programación sencillo donde se escribe el código encargado de gestionar entradas y salidas del sistema. También lleva un compilador integra-

do para detectar errores antes de enviar el código a la placa, un administrador de librerías para facilitar la adición de funciones, y un monitor serie, una herramienta visual para observar los datos enviados por la placa en tiempo real.

Algunas de las características más relevantes de Arduino son su facilidad de uso, con un lenguaje basado en C/C++, y su capacidad para interactuar con sensores del entorno, tales como sensores de temperatura, humedad, calidad del aire, gases y otros parámetros ambientales. Gracias a sus pines de entrada analógicos y digitales, las placas Arduino pueden captar datos ambientales en tiempo real y procesarlos de forma eficiente.

Además, Arduino permite la conexión con módulos de comunicación (Bluetooth, WiFi, etc), lo que facilita el envío de los datos recolectados hacia plataformas de registro, análisis o visualización. Por este motivo, se ha convertido en una herramienta ampliamente utilizada en sistemas de monitoreo ambiental e investigación científica.

Su uso en educación destaca por su bajo coste, flexibilidad, facilidad de implementación y una amplia comunidad que desarrolla librerías y recursos, lo que simplifica la integración de múltiples dispositivos. Por esto mismo también es muy usada en proyectos de monitoreo ambiental. Esto convierte a Arduino en una solución práctica y accesible para construir sistemas capaces de medir, registrar y analizar variables ambientales relevantes para estudios ecológicos, urbanos o rurales.

7. Experimentación

7.1 Fabricación del instrumento de medida

7.1.1 Sensores

Para empezar, se ha hecho una selección de los sensores que se iban a utilizar. Para escogerlos se ha valorado la fiabilidad de la tienda que lo vendía y la fiabilidad de que fuese a funcionar, las valoraciones en Internet de los sensores y el precio de estos. Después de haber hecho la búsqueda de los mejores sensores calidad/precio en el mercado y de descartar varios modelos, se adquirieron los siguientes sensores:

- **Sensores MQ:**
  Todos los sensores del tipo MQ funcionan igual. Estos están hechos con un metal semiconductor, el cual suele ser dióxido de estaño (SnO2), que, cuando se calienta, detecta cambios en la resistencia de este metal al reaccionar con el aire. Ese cambio de resistencia envía una señal analógica, que es directamente proporcional con la concentración del gas, y un microcontrolador transforma esa señal en un valor numérico.

  Sin embargo, hay bastantes gases en la atmósfera que pueden reaccionar con el metal semiconductor, por eso los sensores se hacen de distintos metales y, además, es necesario calibrarlos, por medio del código, para recibir la concentración del gas que se quiere medir.

  Tienen 4 pines, uno de salida analógica, otro de salida digital, otro de alimentación VCC y otro GND, de conexión a tierra.
- **MQ131:** Este sensor presenta una conductividad baja, pero es especialmente sensible al ozono. En presencia de este, la conductividad aumenta notablemente y envía la señal al microcontrolador. También es sensible, aunque en menor medida, al óxido de dicloro (Cl2O) y óxido de dinitrógeno.
- **MQ7:** Este sensor se usa para medir el monóxido de carbono. Lleva un bobina de níquel-cromo para calentar el sensor a la temperatura óptima de detección y alterna entre ciclos de alto voltaje (5 V) y bajo voltaje (1.4 V). Los de 5 V se necesitan para calentar y activar el SnO2 y los de 1.4 V son para medir con mayor precisión el gas.

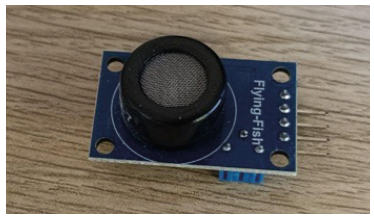


Figura 4. **Sensor MQ131**.
Fuente: **elaboración propia**

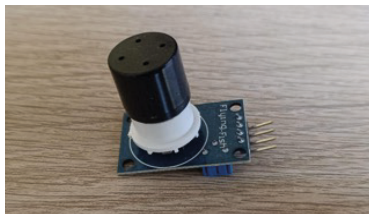


Figura 5. **Sensor MQ7**.
Fuente: **elaboración propia**

- **MQ135:** Este sensor no mide un gas en específico, sino que mide la calidad del aire en función a la concentración de amoníaco, benceno, CO2, etc. que se halle en este.
- **SCD40:** Este sensor tiene integrados una fuente de luz infrarroja, una cámara de medición y un micrófono. Funciona emitiendo la luz infrarroja, que al ser absorbida por las moléculas de CO2, causa un cambio de presión en la cámara. Luego, el micrófono detecta estos cambios, que son periódicos, y envía una señal eléctrica.

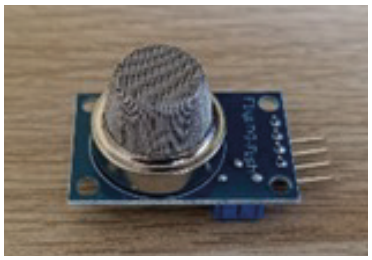


Figura 6. **Sensor MQ135**.
Fuente: **elaboración propia**

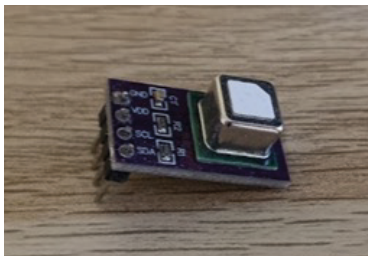


Figura 7. **Sensor SCD40**.
Fuente: **elaboración propia**

- **PMS5003:** Este sensor es capaz de medir material particulado (PM1.0, PM2.5 y PM10) gracias al principio de dispersión láser. Primero, un ventilador interno aspira aire, y un láser ilumina las partículas en suspensión. Luego, un fotodetector capta la luz dispersada por las partículas y un microprocesador interpreta la información y la transforma en un valor numérico.
- **MICS-2714:** Este sensor contiene un chip MEMS (Sistema Micro Electro Mecánico) que responde a gases como el dióxido de nitrógeno, el monóxido de nitrógeno y el hidrógeno molecular (H2). Funciona parecido a los sensores MQ ya que estos gases reaccionan con el material del sensor y produce una señal eléctrica que es interpretada por el microcontrolador.

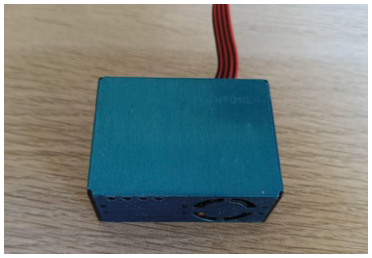


Figura 8. **Sensor PMS5003**.
Fuente: **elaboración propia**

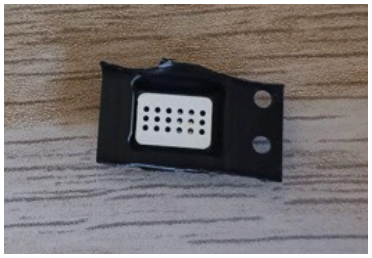


Figura 9. **Sensor MICS-2714.**
Fuente: **elaboración propia**

Además se han comprado dos placas base, una Arduino UNO y otra Arduino Wi-Fi.

Ambas placas contienen los mismos pines: 14 pines de salida digitales, 6 pines analógicos y pines de alimentación (3 GND, 2 de alimentación 5 V, 1 de alimentación 3.3 V, 1 de RESET, 1 SCL que sincroniza la transferencia de datos, 1 SDA que envía y recibe los datos y 1 VIN que se utiliza para alimentar de fuentes externas), y además tienen un conector de alimentación *Jack* para conectar baterías externas. La principal diferencia es el puerto USB para cargar los códigos, mientras la UNO usa un USB tipo B, la Wi-Fi usa un USB tipo C.

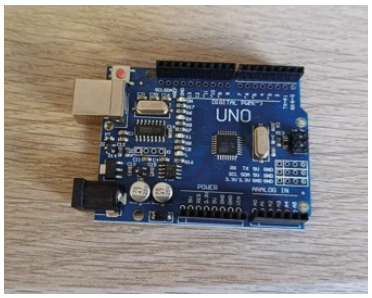


Figura 10. **Placa Arduino UNO**.
Fuente: **elaboración propia**

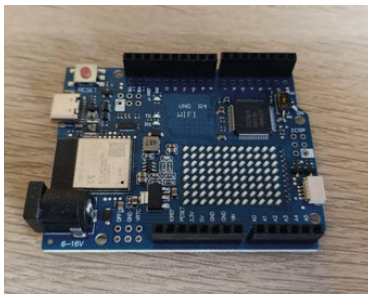


Figura 11. **Placa Arduino Wi-Fi**.
Fuente: **elaboración propia**

Por otra parte, la Wi-Fi está diseñada para poder enviar los datos vía Wi-Fi a un dispositivo electrónico. Sin embargo, no ha sido posible cargar el código en esta placa ya que al intentar cargarlos daba error porque se conectaba y se desconectaba simultáneamente y no daba tiempo. Se cree que esto es debido a un defecto en el conector de la placa ya que se ha probado con varios cables USB y ninguno respondía debidamente.

Así que se decidió usar únicamente placas de Arduino UNO aunque hubiera que guardar los resultados en tarjetas SD para luego analizarlos con un software de hojas de cálculo.

7.1.2 Familiarización con Arduino y con los sensores

Se ha realizado un curso en YouTube para aprender a utilizar Arduino. Para esto se ha usado el canal de @JohannPerezE, que tiene dos listas de reproducción con vídeos tutoriales del uso de Arduino. Tiene uno de nivel básico para la iniciación en este tipo de tecnología (el más necesario) y otro de nivel intermedio que enseña cosas más específicas. De este último solo se vieron algunos vídeos que se asemejaban a lo que se iba a usar en este proyecto.

Por otra parte se ha investigado sobre más funciones de Arduino que pudieran servir y se han instalado algunas librerías que son necesarias para cada sensor porque tienen funciones específicas de estos.

Más tarde, se ha probado que cada sensor funcionaba por separado. Se ha diseñado un código simple y corto para cada uno de los sensores, además de instalarse las librerías

necesarias para cada sensor. En este punto se ha asegurado que todos funcionan correctamente, excepto el MICS 27-14 que no se ha podido instalar ya que lo único que llegó fue el chip y faltaba el módulo para conectarlo a la placa Arduino, el cual se ha buscado para comprarlo *a posteriori* pero no se encontró.

7.1.3 Calibración de los sensores

Después de asegurarse de que todos los sensores funcionaran, se procedió a la calibración de estos. Esto es necesario para los sensores MQ porque no miden únicamente un gas, sino que responden a varios a la vez. Sin embargo, sí se puede aproximar bastante bien gracias al *datasheet* de cada uno, dada por el fabricante. Lo que hacen los sensores es variar su resistencia interna (Rs) con la resistencia en aire limpio (R0). El objetivo de calibrarlos es encontrar ese R0 de cada sensor en aire limpio para luego compararlo con el *datasheet* y aplicar una serie de fórmulas para obtener la concentración. El procedimiento a seguir es el siguiente:

Primero, hay que dejarlo encendido entre 24 y 48 horas antes de proceder con la calibración para asegurar que no queda ningún elemento residual del proceso de fabricación. A continuación, se coloca en aire limpio (al aire libre o cerca de alguna ventana abierta) y se inserta un código específico para la calibración. Luego, el sensor ofrece un valor para R0 que varía dependiendo del sensor. Si este valor es inestable es que aún no está bien calentado y si es mayor o menor del rango dado por el fabricante, es que no se encuentra en aire limpio. Por último, se procedió a obtener los valores aproximados del *datasheet*, para ello era necesario otro código que, a partir de la resistencia obtenida y la concentración aproximada del momento, calculaba los valores de b y m que luego iban a ser necesarios para calcular la concentración.

- **MQ131:** Valor de resistencia en aire limpio: 52.54 kΩ. Valores b y m: -0.33, -1.2
- **MQ135:** Valor de resistencia en aire limpio: 6.9 kΩ. Valores b y m: -1.01, -0.42
- **MQ7:** Para este sensor, además es necesario especificar unos ciclos de calentamiento. Primero debe estar a 5 V durante 90 segundos y luego, en la fase de medición, hay que alimentarlo con 1.4 V. Aparte, se encontraron bastantes problemas ya que al principio daban valores muy altos de resistencia y se tuvo que utilizar un multímetro para comprobar el funcionamiento de todas las conexiones. Al comprobar la resistencia del sensor durante la medición, se observó que era de 1 kΩ en vez de 10 kΩ como pensábamos. Entonces se intentó integrar una resistencia para llegar a esos 10 kΩ, aunque al final se eligió rehacer los cálculos en torno a 1 kΩ. Así obtuvimos los siguientes valores.
  Valor de resistencia en aire limpio: 13.38 kΩ. Valores b y m: 0.21, -0.77

Para el sensor SCD40 también ha sido necesaria una recalibración forzada debido a que ofrecía valores muy altos de CO2. Ofrecía valores de 3000 ppm en interior y 1300 ppm en aire libre, lo que es irreal ya que estar frente a 3000 ppm puede ser peligroso y se notarían síntomas, y en el exterior suele haber una concentración de 400 ppm. Primero se ha dejado midiendo al lado de una ventana abierta durante varias horas y cuando ya se había asegurado que el aire era limpio, se ha introducido un código de recalibración para ajustar un valor interno del sensor que se había disparado. El valor que salió fue de 32281, lo que indica que, efectivamente, se había descalibrado. Esto es un valor de corrección bruto y, si hubiera dado un número cercano a 0 o a 65500, indicaría que no estaba descalibrado. Después de esto se ha empezado a recibir información realista y coherente que variaba según la cantidad de CO2 que se acumulaba en la sala (durmiendo o hablando subía y al ventilar bajaba), por lo que se concluyó que estaba midiendo correctamente.

7.1.4 Integración de los sensores

En un primer lugar, se ha probado el funcionamiento de cada sensor por separado, con un código simple en el que únicamente se muestran los datos en el monitor serie. En este punto los datos no se guardaban en ningún sitio, solo se mostraban y desaparecían al apagar el dispositivo electrónico. Todos funcionaban correctamente, excepto el PMS5003 que no mostraba datos de forma periódica, sino cuando se completaba la medición, lo que podía tardar varios minutos. En este momento no se pensó que fuese un problema, pero más tarde se cayó en la cuenta de que por este motivo no se podía integrar con el resto.

Luego, se ha intentado juntar todos los sensores en la misma placa Arduino, aunque rápidamente se ha visto que no

iba a ser posible alimentar correctamente cada sensor con una única placa, así que se ha dividido en dos. Por un lado, los MQ iban a estar juntos, de esta manera sí se iban a poder alimentar y se podrían recoger los datos en un mismo documento. Por el otro lado, se juntarían el SCD40 y el PMS5003.

- **Circuito MQ:** se conecta cada pin analógico a los pines A0, A1 y A2 de la placa. Los pines GND y VCC (a 5 V) son comunes para los tres y se conectan a través de la protoboard.

  Más tarde se incluyó el módulo de la tarjeta SD, que serviría para guardar los resultados en un archivo de texto. Este se conectó a los pines digitales 10,11,12 y 13, además de al GND y a 3.3 V.

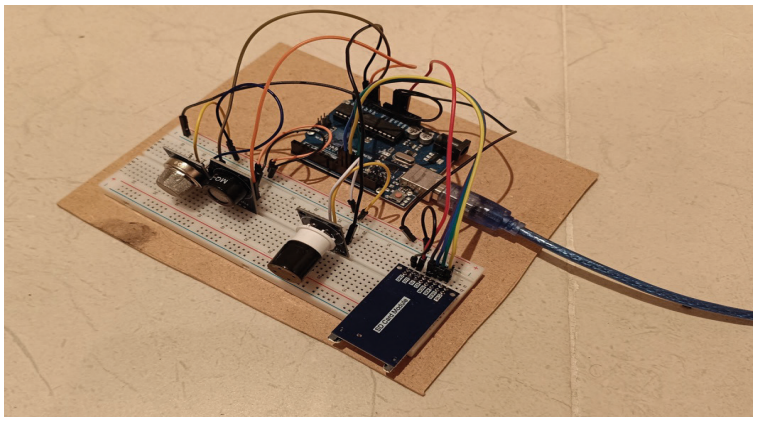


Figura 12. **Circuito MQ**. Fuente: **elaboración propia**.

- **Circuito SCD40 + PMS5003:** el SCD40 se conecta a los pines analógicos A4 y A5, y el PMS5003 a los pines digitales 10 y 11. El GND es común para los dos pero, en cuanto a la alimentación, el primero se conecta a 3.3 V y el segundo a 5 V.

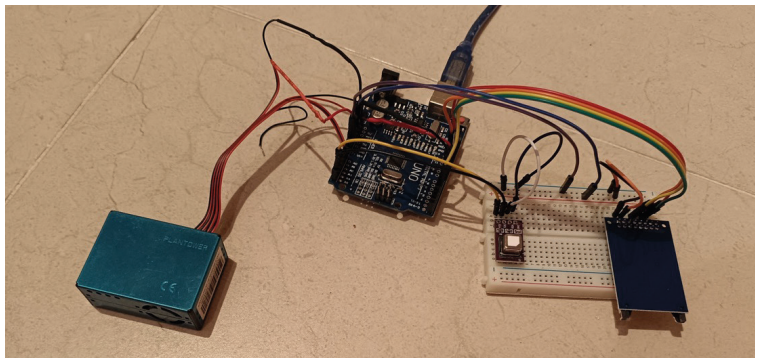


Figura 13. **Circuito SCD+PMS**. Fuente: **elaboración propia**.

Cuando se empezaron a hacer las pruebas para medir, se ha observado que estos dos sensores eran incompatibles juntos. Esto era debido a que cuando enviaba la información el PMS5003 el bus I2C de Arduino quedaba bloqueado, y los datos del SCD40 se perdían y daba error. Los problemas se explicarán más a fondo en el apartado "Códigos".

Así que se ha decidido separar los sensores en 2 placas distintas.

- **Circuito SCD40:** se conectan los pines SDA y SCL a A4 y A5, mientras que los pines VCC (3.3 V) y GND son comunes al módulo de la tarjeta SD. Además, el resto de pines del módulo SD se conectan a los mismos que el circuito MQ.

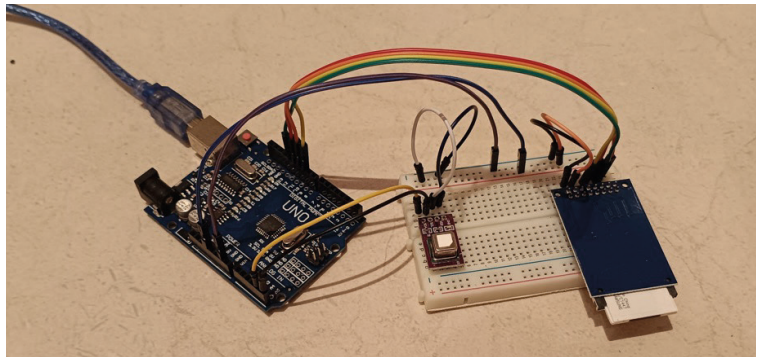


Figura 14. **Circuito SCD**. Fuente: **elaboración propia**.

- **Circuito PMS5003:** los pines RX y TX se conectan a los pines digitales 8 y 9 ya que la tarjeta SD necesita los mismos de antes. El GND es común y el VCC del sensor va a 5 V mientras que el de la SD va a 3.3 V.

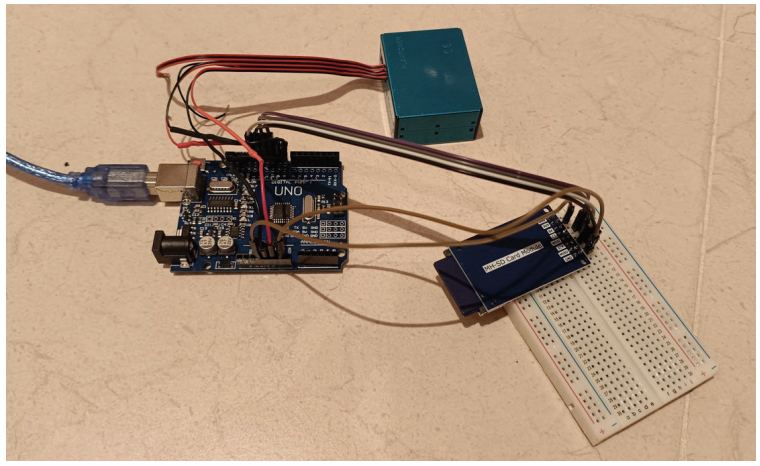


Figura 15. **Circuito PMS**. Fuente: **elaboración propia**.

7.2 Programación de las placas

7.2.1 Códigos de calibración

Para todos los códigos es necesario, antes de nada, declarar algunas variables, como los pines y el voltaje utilizados, y el tiempo que tardará en volver a iniciar el ciclo. El código para calibrar los sensores MQ tiene 4 partes.

Primero se realizan 100 lecturas y se calcula el promedio de estas (val). Como se muestra en la figura 16

```
12  for (int i = 0; i < 100; i++) {
13    val += analogRead(MQ131_PIN);
14    delay(100);
15  }
16  val /= 100.0;
```

Figura 16. **Función promedio**. Fuente: **elaboración propia**.

Como la información que se recibe del sensor va de 0 a 1023 bits, después de se calcula el voltaje real que recibe la resistencia RL con la siguiente fórmula:

$$V_{rl} = \left(\frac{VAL}{1023.0}\right) \cdot VCC$$

Luego, se calcula la resistencia Rs del sensor a través de la fórmula:

$$Rs = \frac{(VCC - V_{rl}) * RL}{V_{rl}}$$

Por último, se calcula R0 que, usando el *datasheet*, observamos que

$$R_0 \approx \frac{R_s}{15}$$

Al final, se muestra en el monitor serie de Arduino, en el ordenador. Como se muestra en la figura 17

```
23  Serial.print("Voltaje medio = "); Serial.println(Vrl, 3);
24  Serial.print("Rs = "); Serial.print(Rs, 2); Serial.println(" kΩ");
25  Serial.print("R0 estimado = "); Serial.print(R0, 2); Serial.println(" kΩ");
26  Serial.println("Calibración MQ131 completada");
```

Figura 17. **Función escribir en el monitor serie**. Fuente: **elaboración propia**.

Sin embargo, el SCD40 era distinto ya que el objetivo era que se configurara para que midiera conforme a una concentración media en aire libre, que es de 400 ppm. Para poder empezar era necesario descargar las librerías Wire.h para posibilitar la comunicación I2C y SensirionI2cScd4x.h, que es la librería oficial para SCD40 y SCD41. Primero, se necesita que el sensor comience a medir, con la función que se muestra en la figura 18, que es exclusiva de esta librería.

```
16  uint16_t error = scd4x.stopPeriodicMeasurement();
17  delay(500);
18  error = scd4x.startPeriodicMeasurement();
19  Serial.println(F("SCD40 iniciado, esperando datos (~5 s)..."));
20  delay(5000);
```

Figura 18. **Función comenzar mediciones**. Fuente: **elaboración propia**.

Luego, tiene una parte que permite ejecutar comandos mientras está en funcionamiento escribiendo en el monitor serie. Y, por último, se encuentra la parte donde se ejecuta la calibración forzada, en este caso a 400 ppm tras asegurarnos que se estaba midiendo en aire limpio.

```
24  if (Serial.available()) {
25    char cmd = Serial.read();
26    if (cmd == 'C' || cmd == 'c') {
27      performFRC();
28    }
29  }
51  void performFRC() {
52    Serial.println(F("=== Calibración Forzada (FRC) iniciada ==="));
53    Serial.println(F("Asegúrate de estar en aire limpio (~400 ppm)"));
54    delay(10000);
55    uint16_t error;
56    error = scd4x.stopPeriodicMeasurement();
57    delay(500);
58    uint16_t correction = 0;
59    error = scd4x.performForcedRecalibration(400, correction);
```

Figura 19. **Función calibración forzada**. Fuente: **elaboración propia**.

7.2.2 Códigos de prueba de mediciones

Primero, se han creado unos códigos básicos para cada sensor por separado. Estos códigos únicamente consistían en la instalación de librerías necesarias para algunos sensores, la declaración de las variables calculadas anteriormente y el cálculo de las ppm que mide el sensor, a través de la fórmula

$$ppm = a \cdot \left(\frac{R_0}{R_S}\right)^b$$

Al final, se muestran los resultados en el monitor serie de Arduino, con la misma función que en la figura 20.

Para el PMS5003 fue distinto ya que trabaja de manera diferente que el resto: las mediciones llevan unos procesos antes de dar un resultado. Primero se leen los 32 bytes del paquete que mide, se guarda en el *buffer* (espacio de memoria temporal para datos) y se verifica que es un paquete válido.

```
12  bool readPMSData(Stream *s, PMS5003Data *data) {
13    while (s->available() >= 32) {
14      if (s->peek() != 0x42) { s->read(); continue; }
15
16      uint8_t buffer[32];
17      s->readBytes(buffer, 32);
18
19      if (buffer[0] != 0x42 || buffer[1] != 0x4D) continue;
```

Figura 20. **Función buffer**. Fuente: **elaboración propia**.

Luego, hay que calcular la suma de los 30 primeros, que debe coincidir con los últimos dos. Si no coincide, el paquete se descarta.

```
21      uint16_t sum = 0;
22      for (int i = 0; i < 30; i++) sum += buffer[i];
23      uint16_t checksum = (buffer[30] << 8) | buffer[31];
24      if (sum != checksum) continue;
```

Figura 21. **Función checksum**. Fuente: **elaboración propia**.

Al final, se reconstruye el *buffer* y se vuelve a leer, ahora los bytes 4 y 5 contienen los PM1.0, los bytes 6 y 7 los PM2.5 y los bytes 8 y 9 los PM10.

```
26      data->pm1_0 = (buffer[4] << 8) | buffer[5];
27      data->pm2_5 = (buffer[6] << 8) | buffer[7];
28      data->pm10  = (buffer[8] << 8) | buffer[9];
29      return true;
```

Figura 22. **Función reconstruir buffer**. Fuente: **elaboración propia**.

Esto se repite periódicamente en cada medición y los paquetes que pasan todo el proceso se muestran en el monitor serie en el ordenador.

```
41    static unsigned long lastPrint = 0;
42    if (millis() - lastPrint < 5000) return;
43    lastPrint = millis();
44
45    PMS5003Data pmsData;
46    bool ok = readPMSData(&pmsSerial, &pmsData);
```

Figura 23. **Función leer periódicamente**. Fuente: **elaboración propia**.

Después de asegurar que todos funcionaran correctamente se ha probado juntarlos en una misma placa. Por un lado los sensores MQ, y por otro el SCD40 y el PMS5003. Para ello únicamente se han juntado los códigos que ya se tenían, solo había que cambiar el nombre a algunas variables y pines para que no se solaparan entre ellos.

En la otra placa, también se ha hecho de esta manera pero se encontraron más problemas. Primero, se ha probado con el PMS5003 en modo pasivo, que enviaba datos cuando los procesaba. Esto era un problema porque los datos recibidos eran uniformes y por cada muchas mediciones de CO_2, únicamente se recibía una medición de PM, lo que impedía un correcto análisis de datos. Para hacer este código también se juntaron los códigos anteriores sin apenas variaciones.

Después, se ha probado a utilizar el PMS5003 en modo activo, que envía información cuando se requiere. Así los datos recibidos serían uniformes y sería posible llevar a cabo el análisis de datos. No obstante, al añadir esta simple función (véase figura 24), que hacía que el sensor enviara datos cada segundo, se bloqueaba el bus I2C de Arduino, imposibilitando que el sensor SCD40 enviase la información.

```
120   static unsigned long lastRead = 0;
121   if (millis() - lastRead < 1000) return;
122   lastRead = millis();
```

Figura 24. **Función PMS modo activo**. Fuente: **elaboración propia**.

De este modo, se decidió separar los sensores en dos placas distintas, recogiendo los códigos simples anteriores y llevando a los códigos definitivos.

7.2.3 Códigos finales de mediciones

Lo único que faltaba para poder iniciar las mediciones era tener un lugar para guardar los datos y que no se perdiesen. Se añadió el módulo SD a cada una de las placas y con ellos sus respectivas funciones. Primero se debía iniciar la tarjeta SD y crear el documento. Además, se escribe una sola vez el orden en el que van a anotarse las variables (véase figura 25).

```
88  if (!SD.begin(SD_CS_PIN)) {
89    Serial.println("ERROR: No se detecta la SD");
90    while (1);
91  }
92
93  Serial.println("Tarjeta SD inicializada.");
94  dataFile = SD.open("AIRE.CSV", FILE_WRITE);
95  if (dataFile) {
96    dataFile.println("Registro,Tiempo(s),NO2(ppm),CO(ppm),O3(ppm)");
97    dataFile.close();
98  }
```

Figura 25. **Función crear archivo e inicializar tarjeta**. Fuente: **elaboración propia**.

Y, segundo, se introducen los datos recibidos en el documento de texto y se añade un tiempo de retardo de 30 segundos para escribir en el documento.

```
135       dataFile = SD.open("AIRE.CSV", FILE_WRITE);
136       if (dataFile) {
137         dataFile.print(registro); dataFile.print(",");
138         dataFile.print(tiempo_s, 1); dataFile.print(",");
139         dataFile.print(no2, 4); dataFile.print(",");
140         dataFile.print(co, 4); dataFile.print(",");
141         dataFile.println(o3, 4);
142         dataFile.close();
143         Serial.println("Datos guardados en SD.");
144       } else {
145         Serial.println("ERROR al escribir en SD.");
146       }
58  float leerPromedioADC(int pin, int n) {
59    float suma = 0.0;
60    for (int i = 0; i < n; i++) {
61      suma += analogRead(pin);
62      delay(RETARDO_ENTRE);
63    }
64    return suma / n;
65  }
```

Figura 26. **Función escribir en el archivo y tiempo de retardo**. Fuente: **elaboración propia**.

Finalmente, cuando se ha procedido a empezar a analizar los primeros resultados, se ha observado que al tener un documento de texto tan largo era complicado diferenciar los momentos en los que había algún cambio en las mediciones. por lo que se ha decidido cambiar un poco la función de la tarjeta SD. El cambio está en que en vez de crear un único documento donde se almacenasen todos los datos recogidos, se crea un nuevo documento cada día (véase figura 27). Así los resultados serían más fáciles de interpretar, concretar en qué momento ha habido alguna variación e identificar el porqué.

```
66  if (millis() - inicioDia >= DURACION_DIA) {
67    numeroArchivo++;
68    generarNombreArchivo();
69
70    File dataFile = SD.open(nombreArchivo, FILE_WRITE);
71    if (dataFile) {
72      dataFile.println("Tiempo(ms),CO2(ppm),Temperatura(°C),Humedad(%)");
73      dataFile.close();
74    }
75
76    inicioDia = millis();
77
78    Serial.print("Nuevo archivo generado: ");
79    Serial.println(nombreArchivo);
80  }
```

Figura 27. **Función crear un nuevo archivo cada 24 horas**. Fuente: **elaboración propia**.

7.3 Puesta en marcha del equipo

Cuando se ha medido en interiores, no ha habido ningún problema puesto que las placas se podían alimentar a través de cualquier enchufe. Los problemas han llegado cuando no se disponía de ningún enchufe donde conectar las placas, es decir, al aire libre. Primero, se ha pensado en alimentar las placas con baterías externas (véase figura 28). Se han probado con unas recargables de 9 V y 800 mAh, pero solo duraban una hora hasta volver a tener que recargarlas. No era sostenible hacerlo de esta manera porque no había disponibilidad para cambiar las baterías cada hora para que la medición fuese continua.

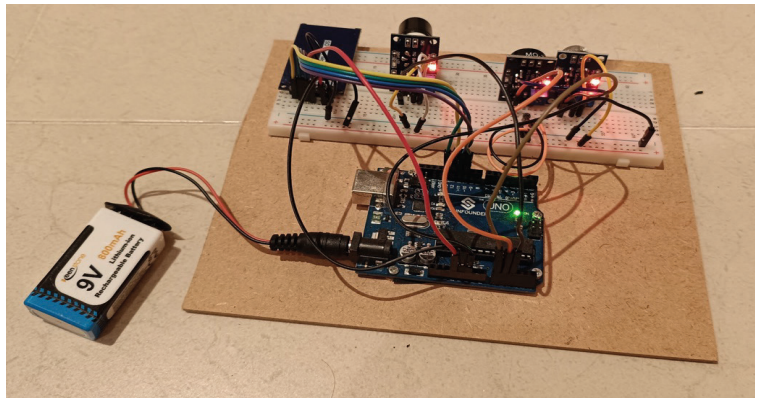


Figura 28. **Circuito con batería de 9 V**. Fuente: **elaboración propia**.

Más tarde, se ha probado la posibilidad de hacerlo con una placa solar y, como por la noche no se iban a poder realizar las mediciones, se ha conectado a una batería portátil (véase figura 29). Por el día funcionaba perfectamente, pero no llegaba la carga de la batería para durar toda la noche.

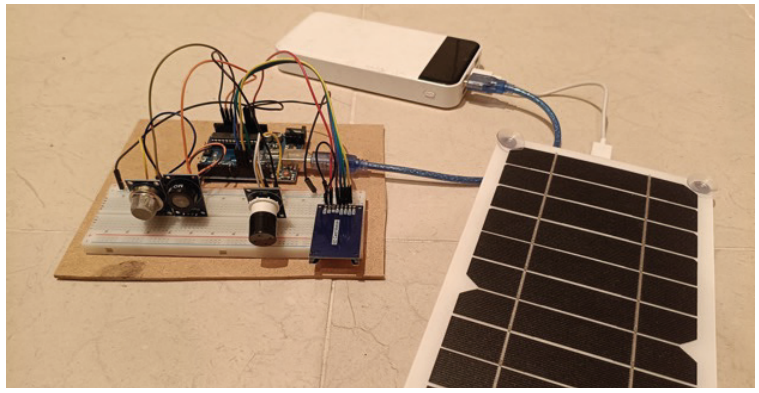


Figura 29. **Circuito con placa solar y batería portátil**. Fuente: **elaboración propia**.

Al final, la solución ha sido sacar los sensores a la terraza de las casas donde se ha medido gracias a la ayuda de alargadores de enchufes. Así se han podido realizar las mediciones continuamente sin ninguna interrupción que dificultase la toma de datos y el análisis de los mismos.

7.4 Análisis de los datos obtenidos

Se han realizado mediciones en distintos ambientes. Por un lado se han comparado los datos obtenidos al aire libre en ambiente rural (Sierra de Guadarrama) y ambiente urbano (Madrid). Y por otro lado, se ha circunscrito el perímetro a una zona rural para comparar entre exteriores e interiores:

- Media montaña (Bola del Mundo, Navacerrada).
- Exterior (Guadarrama).
- Interior de una vivienda (Guadarrama).
- Gimnasio comercial (Guadarrama).
- Cuarto de calderas (Guadarrama), caldera de gasoil.

Al disponer solo de dos dispositivos de medida de cada gas, se ha comparado, en primer lugar, la vivienda. Se ha empezado el 30 de octubre y el 2 de noviembre se ha podido comenzar a comparar. Primero, fue entre la vivienda y el gimnasio, hasta el 9 de noviembre. Del 10 al 17 de noviembre se ha medido en el cuarto de caldera. Del 18 al 26 de noviembre se ha comparado entre el ambiente rural y el urbano. Y del 27 al 4 se ha comparado entre el poblado y la montaña.

7.4.1 Comparativa zona urbana vs. zona rural (en ppb)

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos después de analizar los archivos Excel de datos extraídos de cada uno de los sensores para cada una de las localizaciones comentadas anteriormente.

	Zona rural			Zona urbana		
	Valores medios	Valor máximo	Valor mínimo	Valores medios	Valor máximo	Valor mínimo
CO_2 (ppm)	502	535	434	543	612	497
CO (ppm)	0.38	0.58	0.31	0.39	0.58	0,25
NO_2 (ppb)	9.6	14	3.3	3.8	4.7	3
O_3 (ppb)	29	37	22	33	38	24
PM2.5 (µg/m³)	9	18	5	8	16	5
PM10 (µg/m³)	15	22	12	15	19	11

Tabla 3. **Valores de concentración en exterior de zona rural y zona urbana**.

7.4.2 Comparativa interiores y exteriores

	Interiores								
	Vivienda			Gimnasio			Caldera		
	VM	$V_{máx}$	$V_{mín}$	VM	$V_{máx}$	$V_{mín}$	VM	$V_{máx}$	$V_{mín}$
CO_2 (ppm)	1395	2526	774	3518	4206	1479	2742	3813	1754
CO (ppm)	1.2	3.2	0.7	2	4.3	0.8	9	20	4
NO_2 (ppb)	13	20	10	17	27	12	25	36	21
O_3 (ppb)	12	16	4	14	17	5	2	5	1
PM2.5 (µg/m³)	17	22	11	22	26	15	33	43	26
PM10 (µg/m³)	15	25	6	25	45	12	6	12	4

Tabla 4. **Valores de concentración en interiores.**

	Exteriores					
	Media montaña			Poblado		
	Valores medios	Valor máximo	Valor mínimo	VM	$V_{máx}$	$V_{mín}$
CO_2 (ppm)	431	484	380	523	589	451
CO (ppm)	0.3	0.6	0.1	0.6	0.7	0.6
NO_2 (ppb)	9	15	1	36	45	31
O_3 (ppb)	41	49	31	26	36	16
PM2.5 (µg/m³)	6	12	2	15	26	7
PM10 (µg/m³)	2	7	1	21	35	11

Tabla 5. **Valores de concentración zonas exteriores.**

7.4.3 Comparativa con datos con oficiales

Para garantizar que cada sensor funciona correctamente, se han comparado los datos con la aplicación oficial de la calidad del aire de la comunidad de Madrid, que nos proporciona la concentración de la mayoría de parámetros que buscamos en tiempo real. Tiene estaciones meteorológicas tanto en Collado Villalba (semejante a la concentración de Guadarrama), como en el Puerto de Cotos (semejante a la concentración en la Bola del Mundo) y en Madrid.

Madrid

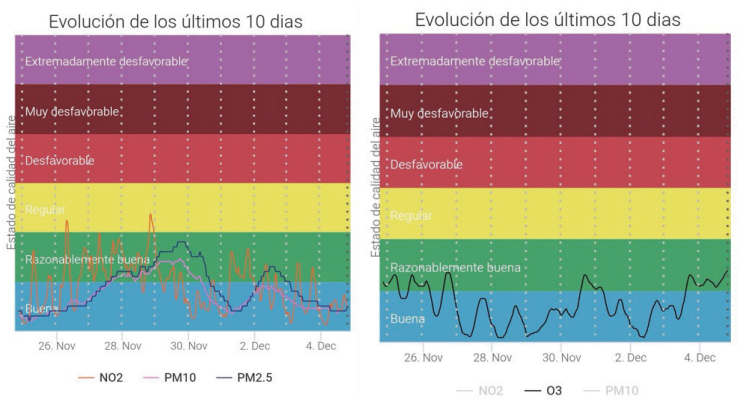


Figura 30. **Evolución del 4 de noviembre al 4 de diciembre de los diferentes contaminantes en Madrid (a la izquierda en Cuatro Caminos y a la derecha en Tres Olivos).** Fuente: **elaboración propia.**

Cotos

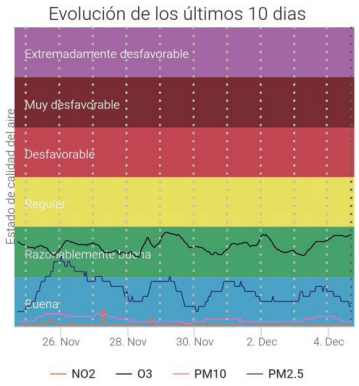


Figura 31. **Evolución del 4 de noviembre al 4 de diciembre de los diferentes contaminantes en Cotos.** Fuente: **elaboración propia.**

Collado Villalba

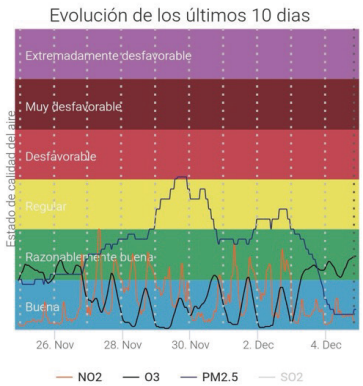


Figura 32. **Evolución del 4 de noviembre al 4 de diciembre de los diferentes contaminantes en Collado Villalba.** Fuente: **elaboración propia.**

7.5 Intervalo de confianza

El intervalo de confianza (IC) sirve para estimar en un rango el verdadero valor de la población y no solo con un valor (media muestral). El rango escogido puede ser el que se desee. Aunque se suele hacer del 95%, también se puede hacer del 90%, 99%, etc.

En este estudio el IC se ha utilizado para valorar si la media obtenida de los valores de concentración es válida y realmente se encuentra en un rango confiable y para comparar las muestras tomadas por los sensores de bajo coste y las muestras ofrecidas por la Comunidad de Madrid. Se ha usado un IC del 90% ya que se ha contado con el error de entre el 5% y 10% de los sensores por la calibración.

Para calcular el IC de los datos de la Comunidad de Madrid se ha llevado a cabo el filtrado y la preparación de los datos. En primer lugar, se han extraído los valores para cada contaminante en un archivo ".txt". A continuación se importado este archivo con Excel, donde se han tratado los datos de la siguiente forma:

- Se han descartado los datos que no eran válidos (los datos válidos estaban marcados con "V").
- Se han reemplazado los puntos por comas para convertir los valores en números.
- Se han agrupado todos los valores de cada contaminante en una única tabla de datos.
- Se han convertido los valores de concentración de $\mu g/m^3$ a ppm o ppb dependiendo del contaminante, usando la fórmula de los gases ideales:

$$V = m \cdot \frac{R \cdot T}{PM \cdot P}$$

V: volumen en ppb o ppm.
m: masa en μg/m3o mg/m3
R: constante de los gases ideales
T: temperatura
PM: peso molecular
P: presión

Por último se ha calculado el IC utilizando la distribución t de Student (ya que es la más apropiada, ya que en nuestro caso la desviación estándar de la población es desconocida). Para ello, primero se ha calculado la media aritmética de todos los datos válidos, luego se ha medido la precisión de la media con la siguiente fórmula:

$$SEM = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

s: desviación estándar de la muestra
n:número de observaciones.

Y el IC del 90% con la siguiente fórmula:

$$IC = \underline{x} \pm (t_{0,05,n-1} \cdot SEM)$$

$t_{0,05,n-1}$: valor crítico de la distribución t de Student para un nivel de confianza del 90%

Dado que las muestras de datos son muy grandes (cientos de miles de mediciones), la distribución t de Student se aproxima mucho a la distribución normal, resultando en intervalos muy estrechos y precisos (véase figura 33).

Contaminante	CO	NO2	PM2,5	PM10	O3
Magnitud	6	8	9	10	14
N.º de Mediciones	47 160	220 069	118 444	165 579	225 066
Unidad	ppm	ppb	µg/m3	µg/m3	ppb
Media Muestral	393	7,89	8,67	14,68	33,33
IC 90% (Límite Inferior)	392	7,86	8,64	14,63	33,27
IC 90% (Límite Superior)	395	7,92	8,71	14,73	33,38

Figura 33. **Índice de confianza del 90% de los valores medidos por la Comunidad de Madrid en el Barrio del Pilar y Tres Olivos.** Fuente: **elaboración propia.**

Contaminante	CO	NO2	PM2.5	PM10	O3
Magnitud	6	8	9	10	14
N.º de Mediciones	0	7882	7935	0	7898
Unidad Final	ppm	ppb	µg/m3	µg/m3	ppb
Media Muestral	N/D	9,846	9,223	N/D	29,628
IC 95% (Límite Inferior)	N/D	9,655	9047	N/D	29,269
IC 95% (Límite Superior)	N/D	10,037	9399	N/D	29,987

Figura 34. **Índice de confianza del 90% de los valores medidos por la Comunidad de Madrid en Collado Villalba.** Fuente: elaboración **propia.**

Para cada contaminante se han realizado gráficas con todos los datos al aire libre (aunque se hicieron varias ya que los datos estaban repartidos en distintas hojas de cálculo) y se han comparado con las gráficas de la Comunidad de Madrid. En algunas estaciones no se han encontrado registros de algunos gases y en esos casos no se ha calculado el IC (por ejemplo en el Puerto de Cotos).

Luego, se ha calculado la media con los datos totales y se ha observado que en la mayoría de contaminantes ese valor se encontraba dentro del IC y en los que no se quedaba muy cerca. En la figura 35 hay un ejemplo de estas gráficas y en la figura 36 están las medias calculadas de cada contaminante.

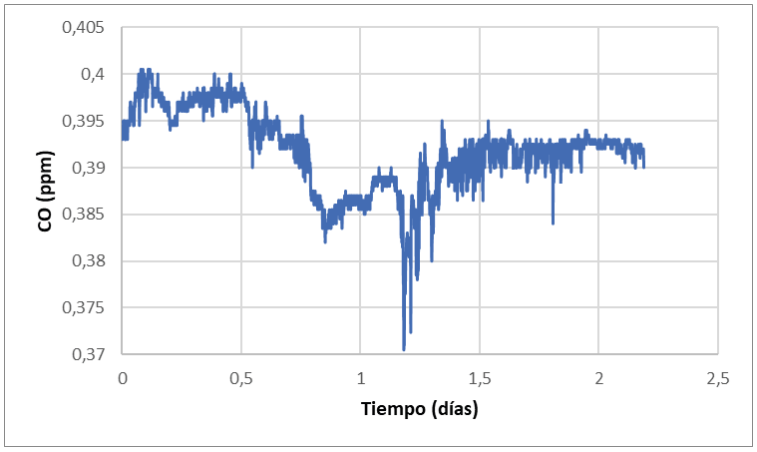


Figura 35. **Ejemplo de gráfica de la variación de CO a lo largo del tiempo.** Fuente: **elaboración propia.**

Madrid	CO	0,392	ppm
	NO2	3,813	ppb
	O3	32,734	ppb
	PM2.5	8,490	µg/m3
	PM10	14,800	µg/m3
Guadarrama	CO	0,375	ppm
	NO2	9,570	ppb
	O3	29,029	ppb
	PM2.5	8,860	µg/m3
	PM10	15,050	µg/m3

Figura 36. **Medias de la concentración de cada contaminante medidas por los sensores de bajo coste.** Fuente: **elaboración propia.**

8.Conclusiones

8.1 Limitaciones

Primeramente, hay que mencionar que no se ha podido cumplir el objetivo de hacer predicciones sobre los efectos en el futuro ya que para adjuntar archivos con tantos datos, las distintas aplicaciones de IA probadas pedían pagar una cierta cantidad de dinero que se salían del presupuesto de este proyecto.

Antes de concluir es necesario recalcar que no se disponía de patrones de medida para la calibración de los sensores, por lo que esta no es exacta. Por la falta de estos, se calcula que los valores numéricos obtenidos de los sensores podrían variar entre un 5% y un 10% , aunque esto no debería afectar a la variación de la contaminación.

Además habría que destacar que al solo disponer de dos sensores para cada gas la comparativa entre vivienda, gimnasio y cuarto de caldera no sería perfecta ya que las mediciones en el cuarto de caldera se hicieron inmediatamente después. Sin embargo, se resalta que al ser en un espacio interior, no se encuentra tan afectado por las condiciones meteorológicas, así que el error no sería demasiado grave.

Por último, el periodo del año en el que se ha podido medir no es el óptimo ya que hay mucha inestabilidad meteorológica que hace que haya muchos cambios en la concentración de los gases y no se aprecie con claridad los lugares con más contaminación.

8.2 Conclusiones

Después de llevar a cabo este proyecto y de analizar los datos recibidos de los sensores y compararlos con los oficiales brindados por la Comunidad de Madrid, se han obtenido las siguientes conclusiones:

En primer lugar se ha comprobado que los sensores utilizados no ofrecían los mismos valores de concentración que los oficiales de la Comunidad de Madrid, aunque sí daban valores similares, sobre todo en cuanto a la variación de la concentración de los distintos parámetros medidos.

En segundo lugar, los sensores sí se han demostrado eficaces para entender las diferencias de las medidas de concentración entre unos lugares y otros, estando de acuerdo con la teoría estudiada en los espacios interiores.

En tercer lugar, se ha observado que no se cumple la teoría propuesta en los espacios exteriores, en específico en la comparativa entre ambiente rural y urbano. Esto debe ser por la etapa del año en la que se han realizado las mediciones que las tormentas y los fuertes vientos arrastran los gases y el material particulado, haciendo que prácticamente no haya contaminación en las zonas urbanas.

Finalmente, la hipótesis queda en parte verificada, ya que se concluye que son fiables para estudiar la variación de la concentración de distintos gases pero hace falta una calibración con un patrón para verificar que las medidas son correctas. Esto requiere patrones de concentración donde el sensor mida en un bote cerrado con una concentración conocida para lograr mediciones mucho más precisas.

9. Próximas líneas de investigación

Ampliación de los contaminantes estudiados: Analizar la concentración de otros gases con sensores de bajo coste como SO_2 o contaminantes como Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) o metales pesados (plomo, mercurio). También se podría analizar la contaminación acústica (mediante la fabricación de sonómetros de bajo coste) o lumínica (con fotodetectores).

Caracterización de los contaminantes en entornos urbanos y rurales: integrar esta tecnología a nivel escolar. Profundizar en la identificación y comparación de los principales contaminantes presentes en ambos tipos de espacios. Esto incluye analizar sus fuentes específicas, como el tráfico vehicular, la actividad industrial, el uso de pesticidas o la gestión de residuos, y estudiar cómo varían sus concentraciones a lo largo de las diferentes estaciones del año.

Fabricación de sensores para medir en agua: fabricar nuevos aparatos con sensores de bajo coste para la medida de contaminación en medios acuáticos, tanto dulces como salados.

Desarrollo de un aparato de medición con conexión por satélite: desarrollar un método para enviar los datos vía satélite para la medida de contaminantes en lugares remotos donde no existe posibilidad de acceso ni cobertura móvil.

Desarrollo y aplicación de tecnologías de seguimiento ambiental: explorar el uso de nuevas herramientas tecnológicas para la medición de la calidad ambiental, tales como sensores de bajo coste, sistemas de teledetección y modelos predictivos basados en inteligencia artificial. Estas tecnologías permitirían obtener datos más completos y mejorar la comprensión sobre la dispersión y comportamiento de los contaminantes.

10. Bibliografía

- ©PRTR-España. (n.d.). *NOx (Óxidos de nitrógeno)*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Retrieved April 19, 2025, from https://prtr-es.es/NOx-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html
- ©PRTR-España. (2007). *N2O (Óxido nitroso)*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. https://prtr-es.es/n2o-oxido-nitroso,15592,11,2007.html
- *air-Q - Conversor de unidades entre ppm - Mg/m3 - Mg/m3*. (n.d.). Vol. %. Retrieved December 11, 2025, from https://es.air-q.com/einheiten-umrechner
- *AQI: Índice de Calidad del Aire en Tiempo Real*. (2025). AQI. https://www.aqi.in/es
- *Calidad del aire. Datos diarios desde 2001*. (n.d.). Portal de Datos Abiertos Del Ayuntamiento de Madrid. Retrieved December 5, 2025, from https://datos.madrid.es/portal/site/egob/menuitem.c05c1f754a33a9fbe4b2e4b284f1a5a0/?vgnextchannel=374512b9ace9f310VgnVCM100000171f5a0aRCRD&vgnextfmt=default&vgnextoid=aecb88a7e2b73410VgnVCM2000000c205a0aRCRD&utm

- *Catálogo de datos abiertos*. (n.d.). Retrieved December 11, 2025, from https://datos.comunidad.madrid/catalogos/#/dataset/calidad_aire_datos_mes/?view=info
- Communications. (n.d.). Dióxido de carbono (CO2): Qué es y por qué su impacto es preocupante. *BBVA*. Retrieved June 26, 2025, from https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-dioxido-de-carbono-co2-y-como-impacta-en-el-planeta/
- de Ciencia, E. de redacción. (2024, March 13). ¿Qué es el efecto invernadero? *NASA* Ciencia. https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/preguntas-frecuentes/que-es-el-efecto-invernadero/
- *Desnitrificación*. (n.d.). Retrieved March 26, 2025, from https://www.quimica.es/enciclopedia/Desnitrificaci%C3%B3n.html
- European Commision. (n.d.). *Glosario: Óxidos de nitrógeno (NOx)*. Retrieved April 19, 2025, from https://ec.europa.eu/health/opinions/es/contaminacion-aire-interior/glosario/mno/oxidos-nitrogeno-nox-oxido-nitrico-no-dioxido-nitrogeno-no2.htm
- Flores, J. (2023, September 15). ¿Qué es la capa de ozono y por qué es tan importante? *National Geographic*. https://www.nationalgeographic.com.es/medio-ambiente/capa-de-ozono-que-es-por-que-es-importante-agujero_18767
- Forget, B. G., & Bunn, H. F. (2013). Classification of the disorders of hemoglobin. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine, 3*(2), a011684–a011684. https://doi.org/10.1101/cshperspect.a011684
- madrid.org. (n.d.). *IDEM Infraestructura de Datos Espaciales de la Comunidad de Madrid*. Retrieved December 11, 2025, from https://idem.comunidad.madrid/visor/?v=calidadaire&-ZONE=454001.2268815422,4466196.491041805,8
- National Aeronautics and Space Administration. (2025a). *Dióxido de carbono*. Climate Change: Vital Signs of the Planet. https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/dioxido-de-carbono/?intent=111
- National Aeronautics and Space Administration. (2025b). *Temperatura global*. Climate Change: Vital Signs of the Planet. https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/temperatura-global/?intent=111
- Roig, D. P. (2025, August 3). ¿Qué es la lluvia ácida y por qué se produce? *National Geographic*. https://www.nationalgeographic.com.es/medio-ambiente/que-es-la-lluvia-acida-y-por-que-se-produce_25723

11. Anexo. Códigos

Debido a la amplia extensión de los códigos se ha incluido una carpeta en Google *Drive* para quién desee consultarlos.

TENGO UNA VACA…

Estudio sobre la expulsión de nitrógeno en las heces de los bovinos

Cecilia Gómez de Miguel

Tutor: Juan José Albaladejo Aparicio

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Pedro de Miguel, mi queridísimo tío sin quien este trabajo habría sido inviable, por estar ahí siempre, en cualquier momento y para lo que fuera.

A mi familia, gracias por dedicar tantas horas valiosas a leer y releer este trabajo. Gracias por escucharme hablar de él una y otra vez, y por darme ese ánimo que siempre llegaba justo cuando lo necesitaba.

Tampoco puedo olvidarme de mis amigos y profesores, que hicieron todo lo posible y más por mí.

Finalmente, mi gratitud sincera a Juanjo, tutor de este proyecto. Agradezco especialmente que aceptaras guiarme a pesar de que el tema se salía de tu zona de confort habitual. Gracias por creer en mi propuesta y por todas las horas dedicadas.

Con mucho cariño, para todos vosotros.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....158

2. ABSTRACT.....158

3. INTRODUCCIÓN.....158

3.1 JUSTIFICACIÓN.....158
3.2 HIPÓTESIS.....158
3.3 OBJETIVOS.....159
3.4 METODOLOGÍA.....159

4. MARCOTEÓRICO.....159

4.1 ESTUDIO DE LA VACA.....159
4.1.1 Generalidades.....159
4.1.2 Sistema digestivo y digestión.....159
4.2 NUTRICIÓN EN GANADO MAYOR.....160
4.2.1 Metabolismo.....161
4.3 PROCESADO DE PIENSOS.....162
4.3.1 ¿Cómo debe ser la alimentación de los bovinos?.....162
4.3.2 Materiasprimas.....163
4.3.3 Tratamiento tecnológico de los alimentos.....163
4.4 EXPLOTACIÓN.....164
4.4.1 Razas.....165
4.4.2 Tipos de sistemas de explotación.....166
4.5 PRODUCTOS DE DESECHO Y CONTAMINANTES DE LAS VACAS.....167
4.5.1 El aire.....167
4.5.2 El agua.....168
4.5.3 La tierra.....169
4.5.4 Ciclo biogénico del carbono y rumiante.....169
4.5.5 Ciclo biológico del nitrógeno y rumiantes.....170
4.5.5.1 Nitrógeno y excreción en rumiantes.....171
4.6 RELEVO GENERACIONAL.....171

5. EXPERIMENTACIÓN.....173

5.1 Justificación y Objetivo.....173
5.2 Recogida y Preparación de Muestras.....173
5.3 Equipamiento y Parámetros Analizados.....173

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....175

7. CONCLUSIONES.....176

7.1. Verificación de la Hipótesis y Eficiencia Nutricional.....176
7.2. Implicaciones Ambientales y Sostenibilidad.....176
7.3. Estrategias para la Reducción de Emisiones de Nitrógeno.....177

8. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....177

9. REFERENCIASBIBLIOGRÁFICAS.....178

10. ANEXOS.....179

1. RESUMEN

La idea para llevar a cabo esta investigación surgió a partir de una justificación personal por visibilizar el sector ganadero; combinando una base teórica con la experimentación científica.

Este proyecto de investigación busca determinar si el tipo de pienso (alimento) consumido por el ganado bovino influye de manera significativa en la cantidad de nitrógeno que excreta a través de sus heces.

El marco teórico detalló la fisiología digestiva de los rumiantes. La eficiencia de este proceso determina la cantidad de nitrógeno que se excreta como residuo. Se recogieron muestras fecales de terneros y vacas de distintas fases productivas, alimentados con dietas diferentes. Las muestras fueron analizadas con el equipo Leco CN-628, para cuantificar el nitrógeno excretado. Los resultados confirmaron la hipótesis, estableciendo una relación directa entre el contenido de proteína bruta de la dieta y la excreción de nitrógeno. Los piensos con menor proteína bruta o las dietas racionadas resultaron en una menor excreción. La metodología incluyó una investigación social con entrevistas a trabajadores del sector y un análisis de laboratorio.

Palabras Clave: Ganado Bovino, Excreción de Nitrógeno, Proteína Bruta (PB), Tipo de Pienso, Ciclo del Nitrógeno, Impacto Ambiental Ganadería, Nitrógeno Fecal, Relevo Generacional.

2. ABSTRACT

The idea for this research arose from a personal desire to raise awareness of the livestock sector, combining a theoretical basis with scientific experimentation.

This research project seeks to determine whether the type of feed consumed by cattle has a significant influence on the amount of nitrogen excreted in their faeces.

The theoretical framework detailed the digestive physiology of ruminants. The efficiency of this process determines the amount of nitrogen excreted as waste.

Faecal samples were collected from calves and cows at different stages of production, fed different diets. The samples were analysed with the Leco CN-628 equipment to quantify the nitrogen excreted. The results confirmed the hypothesis, establishing a direct relationship between the crude protein content of the diet and nitrogen excretion. Feeds with lower crude protein or rationed diets resulted in lower excretion. The methodology included social research with interviews with workers in the sector and laboratory analysis.

Keywords: Cattle, Nitrogen Excretion, Crude Protein (CP), Feed Type, Nitrogen Cycle, Environmental Impact of Livestock, Faecal Nitrogen, Generational Change.

3. INTRODUCCIÓN

3.1. JUSTIFICACIÓN:

Para mí este proyecto tiene una connotación personal con bastante peso. Mi familia, dedicada y, por ende, arraigada al campo y a la vida ganadera, siempre me ha transmitido los valores y la importancia del sector primario, entre otras enseñanzas. A medida que he ido creciendo, siempre rodeada de este entorno, me he acabado dando cuenta de la poca estima en la que se tiene a este sector tan importante de producción. El desconocimiento, la falta de trabajadores y la inexistencia de un relevo generacional lo suficientemente potente, azotan al sector agropecuario. Siempre he disfrutado de todo lo que nos da el campo y estaré eternamente agradecida a quienes me enseñaron lo que es, por lo que no se merece menos que le dedique este trabajo. Y, aunque no es suficiente para devolver todo lo recibido, por el momento esta es mi contribución a él, para que llegue a más gente, para intentar combatir esa desinformación y para devolverle, sólo un poquito, de lo que ha aportado a mi vida.

Me he centrado en la parte biológica, tratando los efectos del nitrógeno como deshecho; pero no podía olvidarme de dar voz a los trabajadores del sector que nos aportaran su opinión sobre la situación actual que se está viviendo y que nos afecta a todos de manera indirecta.

3.2 HIPÓTESIS:

El tipo de pienso consumido, en concreto aquellos con mayor cantidad de proteína, influye en la cantidad de nitrógeno que excretan a través de las heces.

3.3 OBJETIVOS:

Objetivo general:

- Estudiar cómo influye el pienso en el nitrógeno que expulsan los bovinos, analizando si el exceso de proteína bruta aumenta estas excreciones para mejorar la sostenibilidad,
- Dar a conocer la importancia del sector ganadero.

Objetivos específicos:

- Analizar las bases teóricas sobre cómo los bovinos procesan el nitrógeno y su impacto en el medio ambiente.
- Comprobar si los piensos con más proteína bruta provocan que el animal excrete mayores niveles de nitrógeno.
- Identificar qué tipos de alimentos o mezclas ayudan a reducir los residuos y mejorar la producción.
- Observar cómo una mejor alimentación puede disminuir la contaminación y ayudar al planeta.
- Divulgar los resultados para enseñar el valor del sector primario y eliminar ideas falsas sobre la ganadería.

3.4 METODOLOGÍA.

Tras haber planteado la hipótesis, se inició la investigación desarrollando un marco teórico que sirviera para entender las relaciones que serían propuestas más adelante. De este modo, se procedió a la lectura de diversos artículos, documentos y manuales que debían estar actualizados, acorde con la normativa vigente, y se contemplaron los siguientes aspectos: la anatomía de los bovinos (generalidades, sistema digestivo y procesos digestivos); su nutrición (definición, nutrientes y alimentación) y los tipos de piensos; la explotación, los sistemas productivos y las razas; y los desechos producidos. Finalmente se incluyó un apartado sobre el relevo generacional para cumplir con el objetivo de visibilizar el trabajo de este sector.

En agosto comenzaron los procesos de experimentación, llevando a cabo la recogida de las muestras; y entre octubre y noviembre se concluyó con su análisis. Al mismo tiempo se realizaron una serie de entrevistas a distintos trabajadores del sector para complementar al marco teórico; se analizaron los resultados obtenidos, tanto de las entrevistas como de los datos de las muestras recogidas en el laboratorio; y se elaboraron unas conclusiones.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 ESTUDIO DE LA VACA:

Este apartado fundamental presenta al animal, destacando su origen y, crucialmente, su naturaleza como mamífero rumiante. El enfoque principal es la estructura y función única de su sistema digestivo poligástrico, esencial para la digestión de la fibra vegetal y base de su manejo productivo.

4.1.1 Generalidades

Las vacas o Bos Taurus fueron domesticadas hace más de 10.000 años, por nuestros ancestros. Provenientes de la rama genealógica del uro salvaje (Bos primigenius), desde ese entonces nos han servido como fuente de producción y alimento. Estos animales pertenecen a un grupo concreto de mamíferos herbívoros llamados rumiantes, a él también pertenecen otras razas animales como los caprinos, ovinos, búfalos, camellos y ciervos, todos ellos unidos en la misma clasificación por la manera en la que realizan su digestión. Llevan a cabo la digestión de la fibra vegetal gracias a los microorganismos fermentadores que contiene su estómago compartimentado. Su nombre viene del hecho de que realizan la rumia, que es el proceso por el cual los alimentos ingeridos y parcialmente digeridos se regurgitan para volver a masticarse, ensalivarse y se vuelven a deglutir para finalizar su degradación.

4.1.2 Sistema digestivo y digestión

En este apartado se va a proceder a la explicación del sistema digestivo del rumiante y los procesos de digestión llevados a cabo en él.

Las vacas son animales con un sistema digestivo poligástrico, es decir, con varias cavidades digestivas. Esta condición implica que son animales totalmente herbívoros. Debido a su alimentación, carecen de caninos y solo tienen incisivos maxilares inferiores; además, cuentan con una lengua recubierta por ásperas papilas que les facilitan la captación del alimento. Posteriormente, el alimento pasará al resto del tubo digestivo, comprendido por tres dilataciones esofágicas y un estómago propiamente dicho. Estas son: rumen, retículo, omaso o librillo y abomaso.

- Rumen: Compartimento de gran espacio revestido con un gran número de papilas y que acrecientan la superficie para revolver y absorber el material digerido. Es

muy importante porque en él se realiza la simbiosis con un elevado número de bacterias y protozoarios que ejecutan la digestión microbiana.

- Retículo: su función consiste en retener cuerpos extraños que pueda haber ingerido el animal
- Omaso o librillo: Contribuye a disgregar la ingesta, aunque todavía no está bien dilucidada su función.
- Abomaso: es el verdadero estómago y tanto su estructura como sus funciones son muy similares a las de cualquier mamífero no rumiante.

El primer estómago, el rumen, el más grande, contiene la mayor cantidad de microorganismos como ya hemos mencionado. Los alimentos digeridos se descomponen y fermentan por la acción de los microorganismos contenidos en él, produciendo ácidos grasos volátiles que son absorbidos posteriormente por el animal, y representan una fuente importante de energía.

A su vez, dichos microorganismos crecen en dicho espacio a través de la utilización de una fuente de nitrógeno, que proviene principalmente de proteínas y compuestos nitrogenados presentes en los alimentos, y al morir forman una proteína microbiana que llega hasta el abomaso (estómago glandular), donde se conforman los aminoácidos. Estos microorganismos también pueden producir vitaminas del complejo B.

Dependiendo del tipo de alimento suministrado a los rumiantes (concentrados o forrajes, cuya definición se realiza en el punto 5.3.2), la producción de ácidos grasos volátiles variará. Si se suministra una mayor cantidad de concentrado, la proporción de ácido propiónico es mayor que la del ácido acético, lo que incrementa la producción de leche, pero disminuye la proporción de grasa en ella. En cambio, si se suministra una mayor cantidad de forraje, la proporción de ácido acético es mayor, disminuyendo la producción de leche, pero incrementando su contenido graso. Cada ganadero decidirá qué resultados les producirán un mayor beneficio y en base a ello escogen el tipo de alimentos que proporcionarán a su ganado [1].

4.2 NUTRICIÓN EN GANADO MAYOR

Esta sección define la nutrición animal y examina los nutrientes esenciales (proteínas, carbohidratos, grasas, minerales y vitaminas) que componen la dieta bovina. Se explica de manera general el metabolismo y en particular de estos compuestos en el rumiante explicando su aprovechamiento para la producción de carne y leche.

Comprendiendo ahora los procesos digestivos implicados, necesitamos entender ciertos conceptos fundamentales, a partir de la siguiente definición: la nutrición es el proceso mediante el cual los animales ingieren y utilizan sustancias necesarias para su mantenimiento y funciones vitales (Lassiter y Edwards, 1983). Los alimentos son los vehículos que aportan nutrientes como las grasas, proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales al organismo.

Por otro lado, el valor nutritivo es la cantidad adecuada de nutrientes en un alimento, de manera que permitan satisfacer los requerimientos o necesidades para la crianza de los animales.

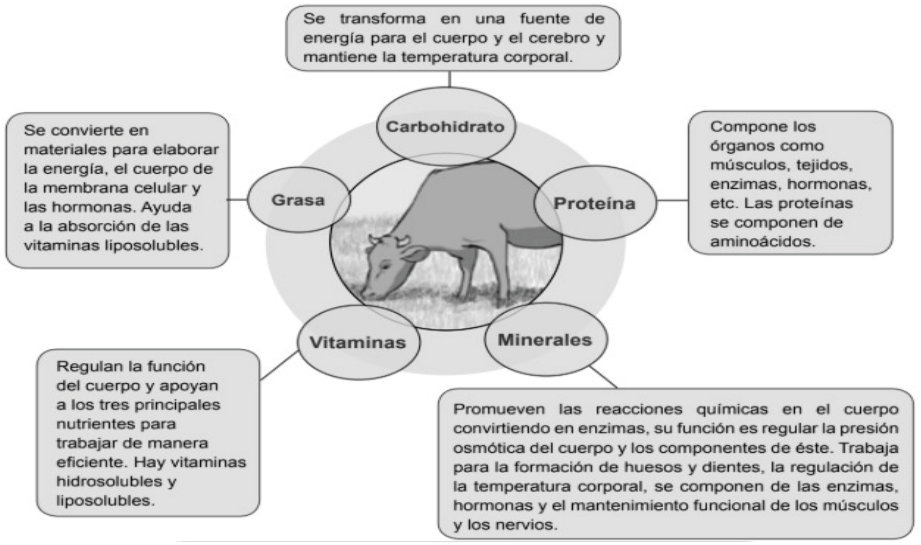


Figura 1 Funciones principales de los nutrientes esenciales en elganado. Tomada de *Manual del protagonista, Nutrición animal*, por INATEC, 2016, p. (https://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/ManualdeNutricion Animal.pdf).

Existe una relación nutritiva entre los alimentos y la composición corporal del tipo de ganado. Se trata de la simbiosis existente entre la proteína digestible (cantidad

1 El contenido de la sección (5.1.2) se basa en el Manual del Protagonista Nutrición Animal (INATEC, 2016)..

de proteína presente en un alimento que el cuerpo puede descomponer y absorber de manera efectiva durante la digestión) y la energía total o del resto de los principios nutritivos en la dieta de un animal. Esta varía en función de la edad y la actividad del animal. No es aconsejable variar bruscamente debido a los peligros que podría suponer, sobre todo en momentos clave como el destete Cada uno de los nutrientes ya mencionados se absorbe y realiza una función diferente.

- La proteína: Contiene nitrógeno, el principal componente del músculo y la sangre. En los rumiantes, la absorción de proteínas funciona de forma distinta. Utilizan el nitrógeno no proteico (NPN) del rumen para sintetizar una proteína bacteriana. En consecuencia, no necesita de los aminoácidos esenciales en los que las proteínas se degradan para realizar las funciones de mantenimiento, crecimiento, reproducción o lactancia, entre otras.
- Carbohidratos: Son sustancias que se consumen como energía y se encuentran en los músculos en forma de glucógeno. En las plantas se presentan como monosacáridos, disacáridos, almidones, celulosa y lignina. Las enzimas digestivas en los animales no pueden digerir la celulosa y la lignina; sin embargo, en el caso de los herbívoros, como las vacas, los microorganismos del tracto digestivo funcionan para la descomposición y digestión de estos alimentos.
- Grasa: Sustancia que se disuelve en un diluyente orgánico, pero es insoluble en agua. Es un nutriente que tiene 2.25 veces más energía que las proteínas y carbohidratos. De hecho, los excesos de carbohidratos se transforman en grasas. La energía no consumida en el cuerpo se almacena en forma de grasa visceral y subcutánea y juega un papel importante en la absorción de vitaminas únicamente solubles en grasa.
- Minerales: Se trata de sustancias de origen natural inorgánico, aunque en este grupo también se incluye el nitrógeno, hidrógeno, oxígeno y carbono, que son sustancias orgánicas. La porción mineral es un constituyente del cuerpo y también es responsable de la regulación del metabolismo y el mantenimiento funcional del mismo. En el cuerpo del animal se encuentra gran cantidad de minerales, los cuales se clasifican en macrominerales (porque se requieren en mayor cantidad) y microminerales o minerales traza, que son requeridos en menor cantidad por su efecto tóxico. A su vez, los minerales desempeñan funciones que debemos conocer:
  - Conformación de la estructura ósea y dental (calcio, fósforo y magnesio).
  - Equilibrio ácido-básico y regulación de la presión osmótica; regulan el intercambio de agua y solutos dentro del cuerpo animal (Na, Cl y K).
  - Sirven como constituyentes estructurales de tejidos blandos.
  - Son esenciales para la transmisión de los impulsos nerviosos y para las contracciones musculares.
  - Sistema enzimático y transporte de sustancias: sirven como constituyentes esenciales de muchas catálisis y como activadores enzimáticos (Zn, Cu, Fe y Se).
  - Reproducción (P, Zn, Cu, Mn, Co, Se y I).
  - Sistema inmune (Zn, Cu, Se y Cr).

Como con todos los nutrientes, los minerales se ven sujetos a distintos factores que afectan a su consumo y procesamiento: estación del año, requerimientos individuales, fertilización del suelo y tipo de forraje consumido.

- Vitamina: Las vitaminas son sustancias importantes que tienen participación en el metabolismo del organismo y no pueden ser sintetizadas por el mismo (exceptuando las vitaminas del complejo B, que sí son sintetizadas por los microorganismos del rumen) por lo que deben recibirlas de un aporte externo específico. Las vitaminas, según su grado de solubilidad, se clasifican en: vitaminas hidrosolubles (complejo B y vitamina C) y liposolubles (vitamina A, D, E, K). Las liposolubles tienen la particularidad de absorberse con las grasas; y las vitaminas hidrosolubles se disuelven en agua y suelen liberarse fácilmente con la orina, por lo que siempre deben suministrarse regularmente con la alimentación.

4.2.1 Metabolismo

La energía de los alimentos proviene de los nutrientes mencionados anteriormente. Estos son utilizados por el animal mediante una serie de transformaciones químicas en el organismo. Este proceso de síntesis y reacciones químicas se conoce como metabolismo.

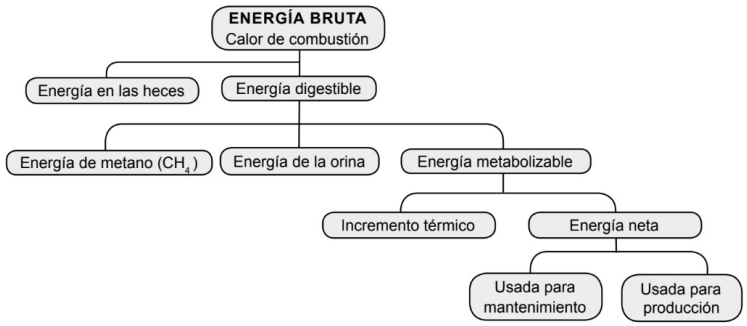
El metabolismo se clasifica en dos categorías principales: el catabolismo y el anabolismo. El catabolismo corres-

ponde a un proceso que genera energía al descomponer compuestos orgánicos, transformándolos desde una forma más compleja a una más simple; un ejemplo de esto ocurre cuando las células generan energía al descomponer el azúcar, resultando en dióxido de carbono y agua. Por otro lado, el anabolismo se trata del proceso mediante el cual se crean compuestos orgánicos utilizando energía, siendo un ejemplo la creación de proteínas y grasas, partiendo de alimentos suministrados.

Cada especie animal procesa estos alimentos de forma distinta, por lo que debemos analizar cómo lo hacen los bovinos:

- Metabolismo de carbohidratos en rumiantes: En este tipo de animales, los microorganismos en el rumen descomponen los carbohidratos para producir ácidos grasos volátiles (ácido acético, ácido butírico y ácido propiónico). El ácido graso inferior es absorbido por las vellosidades de la pared del rumen y se utiliza como fuente de energía para el animal. En el ganado vacuno, aproximadamente el 70% de la energía se obtiene de los ácidos grasos volátiles.
- Metabolismo de proteínas: En el ganado rumiante, la proteína bruta se utiliza principalmente para el crecimiento de microorganismos en el rumen. Las bacterias que se desarrollan allí, a partir de las proteínas, se trasladan hacia el tracto gastrointestinal inferior junto con el alimento, impulsadas por el movimiento peristáltico de los órganos digestivos. Estas bacterias son digeridas y absorbidas por la acción de las enzimas del abomaso y otros órganos digestivos, convirtiéndose en una valiosa fuente de proteína microbiana. La proteína cruda que no fue utilizada por las bacterias en el rumen también es digerida posteriormente por las enzimas del abomaso y los órganos digestivos siguientes.
- Metabolismo de los lípidos: Este metabolismo se lleva a cabo en un 90% en el rumen, produciendo ácidos grasos volátiles como acético, propiónico y butírico. El 10% restante se metaboliza en el intestino delgado por acción directa de la lipasa y la bilis.

Por tanto, la energía que aportan los alimentos al ganado no es similar a la que se ingiere inicialmente, por todos aquellos procesos por los que tienen que pasar los alimentos.



2

Figura 2 .Clasificación de la Energía Bruta y su desglose en Nutrición Animal. Tomada de Manual del protagonista, Nutrición animal, por INATEC, 2016, p. (https://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/Manualde-NutricionAnimal.pdf).

4.3 PROCESADO DE PIENSOS

Aquí se aborda la correcta formulación de la dieta bovina, diferenciando las materias primas esenciales. Se describen los tratamientos tecnológicos clave utilizados para optimizar la digestibilidad y calidad del alimento.

4.3.1¿Cómo debe ser la alimentación de los bovinos?

Las raciones alimenticias de los bovinos deben cubrir todas las necesidades ya mencionadas. Para ello, la ración debe incluir un aporte mínimo de fibra que provenga de los forrajes. Asimismo, cualquier modificación en la dieta debe implementarse de forma progresiva y prolongada, extendiéndose hasta por tres semanas (INATEC, 2016).

En animales adultos, el apetito está limitado por el tamaño y capacidad del rumen cuando consumen raciones voluminosas. En rumiantes muy jóvenes (hasta el destete), la alimentación debe ser similar a la de los monogástricos, ya que dejan de comer cuando se satisfacen sus necesidades energéticas y nutritivas. La energía de la dieta se expresa generalmente como energía metabolizable o energía neta.

Clasificación y características de los alimentos

Los alimentos utilizados en la nutrición del ganado se clasifican en varias categorías (INATEC, 2016):

- Alimentos voluminosos (forrajes, pastos, subproductos del procesamiento de productos agrícolas).
- Alimentos concentrados, que pueden ser proteicos o energéticos y los aditivos nutricionales y no nutricionales.

2 El contenido de esta sección (5.2 y 5.2.1) se basa íntegramente en el *Manual del Protagonista Nutrición Animal* (INATEC, 2016).

4.3.2 Materias primas

Como elemento esencial y principal de la alimentación, nos encontramos con distintas materias primas, que son las que producirán el aporte nutricional al animal (Poballe, 2023).

Los forrajes son las partes verdes de las plantas ricas en fibra: los tallos, hojas y flores (Poballe, 2023); las plantas que más se suelen emplear para la alimentación del ganado bovino son aquellas con un gran porcentaje de estos componentes, preferiblemente que crezcan rápido, no agotan el suelo y contengan nutrientes equilibrados. Las más importantes son la cebada, la avena, la alfalfa, el trébol, la festuca, el raigrás o el sorgo.

Los concentrados, en cambio, son las partes de las plantas de alta energía, ricas en almidón: los frutos, tubérculos y semillas, especialmente los granos de cereal (Poballe, 2023). Las especies más importantes en ganadería son el maíz, la cebada, el arroz, las habas, el trigo, el sorgo y la soja. En esta categoría incluimos también algunos subproductos de la industria alimentaria humana, como la pulpa de remolacha azucarera, de aceituna o de soja o la malta de cebada. Todos ellos son productos con un alto contenido energético.

Los alimentos pueden consumirse en forma de pasto, ingiriendo las plantas directamente del suelo (siendo en este caso todo forraje), en forma de forraje cosechado y transformado (paja, heno, ensilado, etc.) o en forma de pienso compuesto (Poballe, 2023). El Reglamento (UE) 68/2013 regula qué materias primas están permitidas para la elaboración de piensos para el ganado bovino. Generalmente contienen una mezcla de plantas forrajeras henificadas o deshidratadas, más o menos trituradas, granos de cereales variados (sobre todo maíz), soja extrusionada y, en ocasiones, grasas para aumentar la energía.

Al igual que en los alimentos que ingerimos diariamente, la alimentación de los bovinos también contiene aditivos (Poballe, 2023). Los usados para los rumiantes se conforman en una premezcla para compensar deficiencias de minerales y vitaminas de los alimentos (corrector vitamínico-mineral). Además, se pueden añadir antioxidantes y conservantes con el propósito de mejorar los alimentos.

Para mantener la salud ruminal es muy importante que la proporción de cada tipo de alimento sea adecuada para la especie (Poballe, 2023). Un bajo porcentaje de fibra forrajera y un alto porcentaje de energía de rápida digestión es perjudicial para el ganado vacuno por el riesgo de acidosis ruminal y sus consecuencias. El triturado y molido excesivo de los piensos puede tener también una influencia negativa, ya que disminuye el tiempo de masticación, y la cantidad de saliva que llega al rumen es menor (la saliva es alcalina, lo que ayuda a disminuir la acidez).

4.3.3 Tratamiento tecnológico de los alimentos

La fabricación de piensos, que incluye procesos intermedios (como los de molienda o mezcla), es un prerrequisito en la producción animal actual (Peisker, 1996). Mencionaremos posteriormente algunas de las técnicas utilizadas, el aporte que generan al fabricado de piensos y la rentabilidad de producción.

Los objetivos de tratar los alimentos con estos métodos de procesamiento pueden ser agrupados en:

Operacionales:(Peisker, 1996)

- Lograr aumentar la capacidad de la granuladora y la calidad del gránulo (polvo, densidad).
- Mayor flexibilidad para cambiar la formulación de los alimentos.
- Lograr una mayor facilidad para la adición de líquidos al pienso.

Nutricionales

- Aumentar la disponibilidad de nutrientes y la eficacia alimenticia (Sauer et al., 1990)
- Aumentar la higiene del alimento (Konig, 1994).
- Posibilitar la fabricación de alimentos de alta concentración energética por adición de grasa (Peisker, 1995).
- Gelatinizar el almidón (Peisker, 1992) .
- Destruir inhibidores termolábiles[3] (Huisman, 1989).

Cuando sometemos a los alimentos a este tipo de procesados con el fin de lograr alguno de los objetivos ya mencionados, debemos tener en cuenta ciertos aspectos para que sea rentable su producción en fábricas (Peisker, 1996). La expansión y extrusión tienen sentido en animales de primeras edades y son poco rentables en el resto de animales, por lo que mayoritariamente nos encontraremos con piensos fabricados por granulación o en otros casos nos encontraremos con piensos en harina, que es también una de las presentaciones más comunes de los piensos.

3 termolábil:Que se altera fácilmente por la acción del calor.

Actualmente, hay una gran cantidad de tecnologías diversas. La más famosa y común es, sin duda, la granulación (ya sea con vapor o sin él), seguida en segundo lugar por los piensos en harina. Para aumentar la eficiencia, adaptabilidad y facilidad de uso de las granuladoras, se han creado distintos métodos de preparación previos a la granulación, como la pregranulación, la doble granulación, la expansión y la extrusión (Peisker, 1996).

Piensos en harina:

Es un alimento que se produce a partir de diferentes materias primas molidas y procesadas para obtener un polvo seco y fino. Esta harina se utiliza como suplemento alimenticio para animales, ya que aporta nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo. Los piensos en harina para ganado ofrecen un alto valor nutricional (proteínas, aminoácidos, minerales y vitaminas) y una formulación económica. Sin embargo, existe el riesgo de generar problemas digestivos si se usan exclusivamente o en exceso, lo que puede provocar una disminución de la producción de leche y grasa láctea, así como problemas en el rumen (Poballe, s.f.)



Figura 3 C-5 Cerdos Mantenimiento (harina). Regena Ganaderos. (s.f.). Obtenido de https://regenalganaderos.es/es/s/2-piensos-porcino/19-c-5-cerdos-mantenimientoharina-

Granulación

La granulación del pienso es un proceso mecánico de compresión y tratamiento térmico que transforma una mezcla finamente molida de ingredientes (piensos en harina) en gránulos. Como resultado, se obtiene un alimento de mayor densidad y con forma cilíndrica generalmente (Solimix, s.f.).



Figura 4 Piensos Teyda S.L. (s.f.). Tacos de pienso para vacuno. Piensos Teyda. https://www.piensosteyda.com/vacuno.html

De entre las características principales del alimento obtenido tras el proceso de granulación, destacamos la notable mejora en la digestibilidad del mismo, gracias a la desnaturalización de las proteínas y a la gelatinización de los almidones (Piensos, s.f., b). Podríamos decir que es un proceso de predigestión.

El proceso de fabricación también favorece la eliminación de factores antinutricionales presentes en ciertas materias primas vegetales. Además, reduce el desperdicio de pienso, evitando la selección y posterior desecho de ciertos ingredientes por el propio animal (Solimix, s.f.).

Este proceso de fabricación de piensos consta de distintas fases: preparación de las materias primas, trituración, mezcla, granulación y enfriamiento.

En primer lugar, las materias primas se almacenan en silos donde se preparan para su posterior procesamiento. A continuación, se trituran mediante un molino de martillos hasta convertirlas en polvo. La mezcla triturada se separa mediante un tamiz y, a continuación, se almacena en tanques divisores según el tipo de materia prima.

El siguiente paso es mezclar las materias primas, lo que se hace mediante un mezclador de pienso. Después de triturado se introduce en una granuladora de pienso qué da a este el formato deseado (Richi Pellet Machine, s.f.).

4.4 EXPLOTACIÓN

Este segmento clasifica las diversas razas de ganado por su especialización productiva y describe los principales sistemas de explotación. Describe cómo la organización de recursos influye en la rentabilidad y el manejo de los animales.

4.4.1 Razas

Dentro del ganado bovino nos encontramos con gran variedad de razas, cada una destinada a un fin de producción rentable según sus características.

Lo predominante en el sector cárnico son los cruces de las diferentes razas, con el objetivo de obtener altas tasas de rentabilidad y productividad.

En la península nos encontramos con ciertos grupos autóctonos, los más representativos serían; la avileña negra ibérica, morucha y rubia gallega. Otras dos razas de origen francés con importante peso en el sector productivo cárnico de origen francés; son la limusina y la charolesa, mientras en el caso de la producción láctea nos encontramos con la raza frisona de origen holandés, extendida a nivel mundial.



Figura 5 Toro de raza Charolais. Fotografía de un toro Charolais. Recuperada de la Unión de Criadores de Ganado Vacuno Selecto de Raza Charolesa de España, s.f., (https://uniondecharoles.es/secciones/historia-15).



Figura 6 Vaca de raza Limusina. Fotografía de la raza Limusina. Recuperada de InfoCarne, s.f., (https://www.infocarne.com/bovino/raza_limusina.htm).



Figura 8 Dos toros negros de raza Avileña-Negra Ibérica en un pastizal. Recuperado de https://vacunodeelite.com/la-diputacion-de-avila-cede-cuatro-sementales-de-avilena-a-municipios-de-la-provincia/



Figura 9 Vaca de raza Morucha. Recuperada del Consejo Regulador I.G.P. Ternera de Extremadura, s.f., (https://www.terneradeextremadura.org/morucha/).



Figura 10 Vaca de raza Rubia Gallega tumbada en un pastizal. [Fotografía]. Recuperado de https://www.carnicasdiscarpe.com/descubre-la-vaca-rubia-gallega/vaca-rubia-gallega-discarpe/



Figura 11 BIRISKA. (2019, 31 de enero). La raza frisona Recuperado de https://biriska.com/la-raza-frisona-sera-protagonista-en-cimag-gandagro-2019/

4.4.2 Tipos de sistemas de explotación

Vera y Vega (1979) los definen como una organización eficaz de recursos como alimento, animales y trabajo para obtener productos. Los sistemas ganaderos se analizan desde un balance energético (eficiencia de conversión alimenticia) y uno económico (rentabilidad).

Existen dos grandes categorías de sistemas ganaderos: extensivo e intensivo, con múltiples combinaciones intermedias que forman una secuencia evolutiva: desde el pastoreo tradicional hasta la explotación intensiva. Factores como clima, tipo de suelo, vegetación, cultura y recursos disponibles influyen en la elección de un sistema (Espejo, 1996).

Sistema Extensivo

El sistema extensivo es el más tradicional. Se practica en zonas no aptas para la agricultura intensiva, utilizando razas autóctonas adaptadas al entorno. Su característica principal es la baja productividad unitaria, pero también baja inversión, y dependencia del medio natural para la alimentación del ganado. La tierra es el recurso más crucial en este sistema.

Sotillo Ramos y Vijil Maeso (1978) identifican tres configuraciones según capital y trabajo:

- Baja mano de obra y escaso capital (latifundios o tierras comunales).
- Alta mano de obra y escaso capital (regiones con tierra fragmentada).
- Baja mano de obra y alto capital (zonas en transición hacia sistemas modernos).

Este sistema es común en terrenos pobres o apartados, y puede coexistir con agricultura o silvicultura. Suelen usarse razas rústicas, sin gran especialización productiva (Espejo, 1996).

Sistema Intensivo

El sistema intensivo se basa en una alta tecnificación y control sobre los recursos. Permite altos rendimientos en poco tiempo mediante mejoras en genética, alimentación, sanidad e instalaciones. Se practica en zonas con condiciones adecuadas para producir forrajes o importar alimento, y requiere capital intensivo y mano de obra cualificada.

El capital se divide en:

- Fijo: instalaciones, equipos, animales.
- Circulante: piensos, energía, medicinas.

Este modelo se rige por el principio económico de "rendimientos decrecientes", exigiendo una gestión empresarial eficaz (Espejo, 1996).

Sistema Mixto o Semi-Intensivo

El sistema mixto combina elementos del extensivo (pastoreo) y del intensivo (estabulación), siendo adaptado a contextos agrícolas (Espejo, 1996).

El ganado cumple además una función auxiliar en la agricultura: mejora del suelo con estiércol, uso de subproductos agrícolas y mejor aprovechamiento de la mano de obra.

Surgió a causa de cambios tecnológicos y sociales, como la mecanización del campo y el despoblamiento rural. Aunque la función de tracción animal ha sido reemplazada, el ganado sigue siendo útil en explotaciones familiares para la producción de alimentos y el incremento de la rentabilidad.

Este modelo evoluciona hacia formas más productivas mediante el uso de piensos industriales, razas mejoradas y una mayor orientación al mercado.

Sistema Industrial

Es una forma avanzada del sistema intensivo, caracterizada por la total desvinculación del suelo. Los animales se alimentan con piensos industriales y se crían en ambientes altamente controlados. Este sistema es común en especies como aves y cerdos, que no requieren forraje.

Características (Sobrino et al., 1981):

1. Alta eficiencia alimentaria y uso de piensos concentrados.
2. Independencia geográfica, permite ubicar granjas cerca de mercados.
3. Aprovechamiento de economías de escala.
4. Aplicación de avances científicos (genética, salud, alimentación).
5. Alta capacidad de adaptación al mercado.
6. Vulnerabilidad ante fluctuaciones económicas.

Este sistema rompe el equilibrio tradicional entre ganadería y agricultura, orientándose exclusivamente a la producción animal con alto nivel de tecnificación.

En el caso del ganado vacuno las explotaciones extensivas estarían formadas por rebaños de vacas nodrizas dedicadas a la producción de terneros. Mientras las explotaciones de carácter intensivo serían las granjas destinadas a la

producción láctea y cebaderos de terneros para la producción de carne (Espejo, 1996).

Si bien estas clasificaciones describen el manejo productivo, en el contexto de la normativa española, el Real Decreto 1053/2022 establece clasificaciones sanitarias y productivas específicas (como "Explotaciones de carne", "Explotaciones de leche") y asigna niveles de riesgo (Bajo, Medio, Alto) a cada explotación bovina registrada, lo cual condiciona sus requisitos de bioseguridad y control.

Ahora resumimos las ventajas y desventajas en una tabla:

Sistema	Ventajas	Desventajas
Extensivo	• Aprovechamiento de recursos vegetales improductivos; • Uso de razas autóctonas adaptadas; • Mínima inversión y alta rentabilidad relativa; Coexistencia con agricultura o silvicultura.	• Baja productividad unitaria; • Estacionalidad en la producción; • Dificultad para tipificar productos; Problemas sanitarios y largos ciclos productivos • Escasez de mano de obra y heterogeneidad en los rebaños.
Intensivo	• Alta productividad por unidad de tiempo y superficie; • Independencia del clima y condiciones del suelo; • Producción uniforme y programada según el mercado; • Mayor profesionalización del trabajo.	• Altos costos de inversión y operación; • Dependencia del mercado y materias primas extranjeras; • Menor eficiencia energética en la conversión de alimento a producto; • Rápida obsolescencia tecnológica.
Mixto / Semi-intensivo	• Combina pastoreo y estabulación; • Mejora del suelo mediante estiércol; • Uso de subproductos agrícolas; • Mejor aprovechamiento de la mano de obra; • Evoluciona hacia mayor productividad con piensos industriales y razas mejoradas.	• Menor especialización que el intensivo; • Producción dependiente de factores agrícolas; • Requiere una gestión equilibrada entre pastoreo y estabulación.
Industrial	• Alta eficiencia alimentaria con piensos concentrados; • Independencia geográfica, cercanía a mercados • Aprovechamiento de economías de escala; • Aplicación de avances científicos (genética, salud, alimentación); • Alta capacidad de adaptación al mercado.	• Vulnerabilidad ante fluctuaciones económicas; • Total desvinculación del suelo; • Alta inversión y tecnificación requerida; • Enfoque exclusivo en producción animal, sin integración agrícola.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los distintos sistemas de explotación. Elaboración propia

4.5 PRODUCTOS DE DESECHO Y CONTAMINANTES DE LAS VACAS

Este extenso capítulo evalúa el impacto ambiental de la ganadería en el aire, el agua y la tierra. No obstante, el análisis central se enfoca en la función biológica del rumiante dentro de los ciclos biogénicos, destacando especialmente el ciclo del nitrógeno, cuya comprensión es vital para gestionar el metabolismo de las proteínas y las excreciones del ganado.

La actividad ganadera tiene un impacto en el medio ambiente. La emisión de gases, la eliminación a través de las heces y la orina de algunos minerales y la utilización de recursos de la tierra y del agua, son consecuencias de la producción de alimentos de origen animal que tienen su efecto en el medio ambiente.

En base a los anteriores impactos mencionados, hay ciertas líneas de información que sitúan a la ganadería rumiante como uno de los principales causantes de los gases de efecto invernadero. Sin entrar a valorar dicho posicionamiento en este estudio, los datos contrastados no parecen dar base a dicha información (Yáñez-Ruiz, 2020). Numerosos trabajos científicos explican y aportan datos de cómo y en qué cuantía repercute cada sector productivo en el medio ambiente. Concretamente se van a ver afectados el aire, el agua y la tierra.

4.5.1 El aire

El principal efecto a nivel atmosférico es el llamado “calentamiento global”, consecuencia de la emisión excesiva y acumulación de gases de efecto invernadero (GEI), procedentes de la actividad humana. Los principales GEI son:

- Dióxido de Carbono (CO2): Es el gas de efecto invernadero con mayor presencia en la atmósfera, representando entre 65-74 % del total de emisiones, que además permanece más tiempo en ella (su vida media es de cerca de 1000 años). No es el GEI más potente. Principalmente procede de la combustión de combustibles fósiles, de la actividad industrial o de la quema de biomasa, por ejemplo, por los incendios forestales.

- Metano (CH4): Tiene un alto potencial de efecto invernadero (25 veces más potente que el CO2) pero su vida es mucho más corta, de unos 10 años. Se produce de forma natural, a través de la descomposición anaerobia (en ausencia de oxígeno) en los humedales, los incendios forestales o la digestión de los rumiantes (tanto salvajes como domésticos). A modo de comparativa de distintas actividades humanas, aproximadamente el 18 % del metano se emite en las instalaciones de extracción de petróleo y gas, mientras un 17 % lo emiten los rumiantes (ganadería y animales salvajes). El cultivo de arroz, el cereal más consumido en el mundo, es responsable del 10 % de las emisiones, y la descomposición de basura en vertederos emite un 7 % del total (Baldasano, s.f.).

- Óxido Nitroso (N20) y gases fluorados: Tienen un gran potencial de efecto invernadero. El N2O se produce tanto de forma natural como artificial. Se mantiene en la atmósfera algo más de un siglo. Su potencial de efecto invernadero es 300 veces el del CO2. Supone menos del 6% de todas las emisiones. Mientras un 40 % de estas se generan de forma natural en los procesos de fertilización de los suelos, un 20 % se emite desde los océanos, y el restante 40 % tiene origen humano (sobre todo, en la fertilización artificial de los campos agrícolas). En cuanto a los gases fluorados, su origen es exclusivamente humano. Usados para sustituir a los clorofluorocarburos (CFC), usados en aerosoles, refrigerantes, que se han ido retirando del mercado por ser causantes de la destrucción de la capa de ozono. Todos los gases fluorados (incluyendo algunos CFC todavía en uso) representan alrededor del 2 % del total de emisiones de gases de efecto invernadero. El potencial de calentamiento de alguno de ellos multiplica hasta 22.000 veces el del CO2.

- Vapor de agua: “El vapor de agua es un gas de efecto invernadero importante, pero no se acumula, ya que forma parte del ciclo hidrológico del planeta”, señala José María Baldasano. “El problema es que, al calentar la atmósfera, el aire admite más humedad. Se calcula que el aumento de un grado en la temperatura media del planeta ha provocado que el contenido de agua en la atmósfera se haya incrementado un 7%, retroalimentando el efecto invernadero " (Baldasano, s.f.)

En España, los datos de 2019 del inventario español indican que la agricultura es responsable directa del 11,9% de las emisiones de gases efecto invernadero. Más de la mitad (un 6% del total) proviene de la producción de metano, tanto fermentación entérica (3,6% en rumiantes) como por la gestión de estiércoles y purines (2,4% en porcino fundamentalmente).

4.5.2 El agua

La normativa estatal respecto al agua marca las prioridades de uso: primero hay que garantizar el consumo de boca, en segundo lugar, usos medioambientales en cada una de las cuencas hidrográficas (caudal ecológico suficiente, depuración de las agua y preservación del buen estado de acuíferos y aguas superficiales, principalmente), y, en tercer lugar, su utilización para el desarrollo de las actividades económicas.

La agricultura y la ganadería son las actividades económicas que hacen un mayor uso del agua. Alrededor de un 75% de toda el agua consumida en España, se destina a esta actividad.

Para medir el impacto que tiene cualquier actividad humana en los recursos hídricos se utiliza la huella hídrica, que es un indicador que mide el volumen de agua utilizada, ya sea directa o indirectamente, para producir bienes y servicios. El cálculo de la huella hídrica se realiza diferenciando tres tipos de agua:

- Agua verde, es el agua procedente de la lluvia
- Agua azul, es el agua dulce procedente de las aguas superficiales (ríos, lagos y embalses) y subterráneas (acuíferos).
- Agua gris, es el agua necesaria para diluir la contaminación generada durante la producción.

Existen discrepancias respecto al consumo de agua en la ganadería rumiante; por un lado, nos encontramos con afirmaciones que señalan que “para producir 100 gr de carne se necesitan 2.000 litros de agua”, pero estos datos no consideran el agua de lluvia (agua verde) que utiliza el ganado; el

agua de lluvia que cae sobre el terreno y lo utilizan las plantas para su crecimiento (estén presentes o no los animales) y esas plantas sirven de alimento para el ganado herbívoro. Por tanto, gran cantidad de agua que ingresa en los animales lo hace a través del alimento, además del agua de bebida procedente de la lluvia que utilizan los animales. Por otro lado, autores como Doreau et al. (2012), Caro et al. (2016) y Mitloehner (CLEAR Center, s.f.), señalan que "100 g de carne de vacuno necesitan aproximadamente 122 litros de agua azul", ya que sostienen que el 94% del agua utilizada para producir carne de vacuno es agua verde (lluvia) y solo un 6% sería agua azul (agua superficial o subterránea).

4.5.3 La tierra

En cuanto al uso de la tierra, se dedican grandes extensiones de terreno para la producción ganadera, Sin embargo, según el Dr. Mitloenher (CLEAR Center, s.f.), dos tercios del total de tierras agrícolas son lo que denominan "tierras marginales", es decir, que no se pueden cultivar, y es el ganado rumiante el único que puede aprovechar el pasto, la hierba, hojas, brotes, etc. que se produce en estas tierras. Se trata de vegetales con un alto contenido en hidratos de carbono estructurales, como la celulosa y hemicelulosa, que el tracto digestivo de los humanos no es capaz de digerir y, por tanto, utilizar. Estos animales pueden hacerlo, gracias a la acción fermentativa de la flora y fauna microbiana que coloniza el rumen, convirtiendo la celulosa en ácidos grasos volátiles que son utilizados metabólicamente por estos animales.

El 84% de la alimentación del ganado rumiante se basa en alimentos que no son comestibles para humanos. De hecho, los rumiantes reciclan los nutrientes presentes en estos alimentos, poniéndolos a nuestra disposición, y aprovechan alimentos que normalmente se desperdiciarían. Por lo tanto, convierte alimentos no comestibles para los humanos en productos de origen animal altamente digeribles y nutritivos (carne, leche).

El ganado mantiene a raya el crecimiento descontrolado de una vegetación, que de otra manera supondría un importante riesgo para la propagación de incendios. Además de aportar a la tierra estiércol, que es un recurso usado como fertilizante natural.

El futuro de la ganadería deberá pasar por basarse en un modelo de economía circular, produciendo de forma sostenible sin agotar recursos, reciclando subproductos, reduciendo emisiones de gases efecto invernadero, etc. (Fernández, 2022).

4.5.4 Ciclo biogénico del carbono y rumiante

En general el ganado rumiante (vacas, ovejas y cabras) contribuye al cambio climático porque emite metano (CH4), un gas de efecto invernadero, como hemos visto. No obstante, la expulsión de metano a través del eructado de los rumiantes forma parte del ciclo biogénico del carbono.

Este ciclo se centra en la capacidad de las plantas para absorber y secuestrar carbono. Las plantas tienen la capacidad única, mediante la fotosíntesis, de captar el dióxido de carbono CO2 de la atmósfera y depositar ese carbono en las hojas, raíces y tallos de las plantas, a la vez que se libera oxígeno a la atmósfera. Este carbono se convierte principalmente en celulosa, un carbohidrato que es uno de los componentes básicos de las plantas. La celulosa es el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza, presente en pastos, arbustos, cultivos, árboles, etc. Su contenido es especialmente elevado en pastos y arbustos de tierras marginales, lugares donde los cereales y otros cultivos comestibles para la especie humana no pueden crecer o lo hacen con muy bajos rendimientos. Como ya se ha comentado, los rumiantes son los únicos animales que pueden digerir este material vegetal; obteniendo energía, reciclando la celulosa y, por tanto, también el carbono y producen leche y carne a partir de este material no utilizable por la especie humana.

Como consecuencia del consumo de celulosa, el ganado elimina carbono en forma de metano y, por lo tanto, devuelve a la atmósfera el carbono secuestrado por las plantas que previamente consumió. Después de, aproximadamente, unos 10 años, ese metano se descompone y se vuelve a convertir en CO2 y agua. Este CO2 es nuevamente captado por las plantas mediante la fotosíntesis y fijando ese carbono en celulosa. El ganado vuelve a consumir las plantas y el ciclo comienza de nuevo. (Fernández & Bacha, 2023)

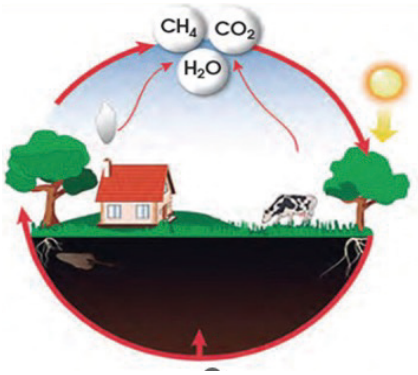


Figura 11. Ciclo del carbono. [Ilustración].Recuperado de https://es.123rf.com/photo_63133912_ciclo-del-carbono-la-ruta-de-carbono-de-la-atm%C3%B3sfera-en-los-organismos-vivos-a-continuaci%C3%B3n-girar-a-.html

4.5.5 Ciclo biológico del nitrógeno y rumiantes

El nitrógeno (NH3) es un elemento esencial para la vida en la Tierra. Constituye aproximadamente el 78% de la atmósfera en forma de nitrógeno molecular (N_2), aunque este no puede ser utilizado en ese estado por la mayoría de seres vivos. Para que el nitrógeno sea accesible y pueda ser incorporado en moléculas vitales como proteínas y ADN, debe transformarse a través de un proceso natural conocido como el ciclo del nitrógeno.

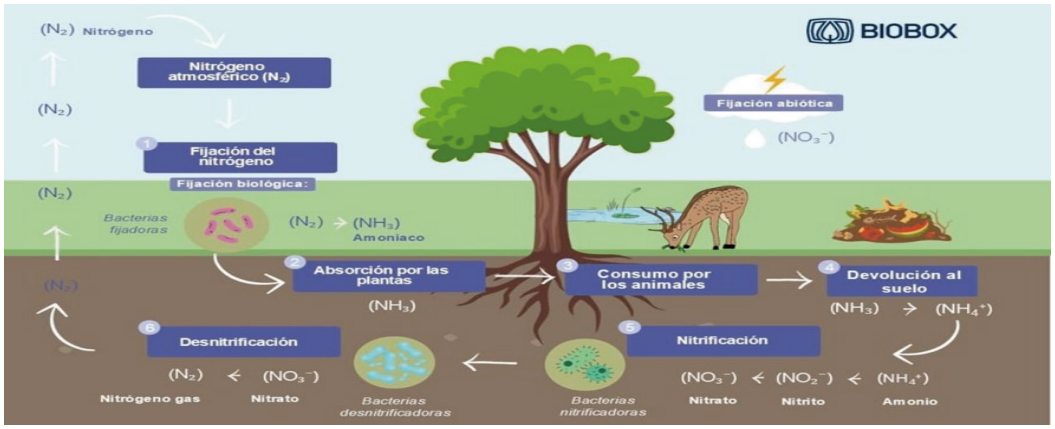


Figura 12. Ciclo del nitrógeno. [Ilustración]. Recuperado de https://biobox-water.com/noticias/el-ciclo-del-nitrogeno-entendiendo-su-papel-fundamental-en-la-naturaleza/

Los animales no digieren la totalidad de los nutrientes que ingieren, sino que éstos tienen una determinada digestibilidad. Por lo tanto, una proporción variable de los nutrientes ingeridos acaba en las excreciones de los animales y constituye la fuente de los principales contaminantes ambientales.

La proporción del nitrógeno ingerido que es excretado es muy variable, entre el 40 y el 80%, dependiendo de la especie animal, raza o tipo genético, alimentación y régimen de estabulación. Cuanto mayor sea la proporción de nitrógeno excretado, mayor será la emisión posterior de NH3. Pero, si el animal es capaz de aprovechar mejor el alimento, se reduce el NH3 que excreta.

¿Pero cómo es el metabolismo del nitrógeno en los rumiantes?

Los rumiantes no poseen proteasas [4] (enzimas) en saliva; la digestión de las proteínas en rumen y retículo es debido a la acción de bacterias y protozoos que mediante proteasas y peptidasas rompen los enlaces peptídicos que unen los aminoácidos que forman las proteínas y los liberan. Una vez libres los aminoácidos son desaminados [5] liberando NH3, que será utilizado por otras bacterias para formar sus propios aminoácidos, para lo que necesitan también una fuente de energía disponible, principalmente carbohidratos (almidones y celulosa). De ahí que para la producción de proteína microbiana y, por lo tanto, de aminoácidos digestibles, en el rumen deban estar presentes de manera simultánea y sincronizada NH3 y una fuente de carbohidratos. El nivel de utilización de NH3 para la producción de proteína depende de la energía generada por la fermentación de carbohidratos y, en promedio, se producen 20g de proteína microbiana por cada 100g de materia orgánica fermentada en el rumen. La falta de carbohidratos en el rumen, puede ocasionar la deficiencia de proteína microbiana y aminoácidos disponibles para el animal, aún con cantidades adecuadas de NH3. Una vez que las proteínas microbianas y las proteínas no digeridas en el rumen llegan al abomaso e intestino, son digeridas por enzimas proteolíticas [6] para ser absorbidas en el intestino.

Habitualmente se hace referencia al contenido en proteína bruta de las materias primas, si bien sería más correcto hablar de compuestos nitrogenados, ya que una fracción de lo que se asume como proteína está formada por Nitrógeno No Proteico (NNP). Por lo tanto, cuando se formulan las dietas de los rumiantes hay que tener en cuenta esta fracción y que el NNP se transforma rápidamente en NH3 en el rumen.

La llamada Proteína Verdadera, es decir, el nitrógeno contenido en los aminoácidos que forman los péptidos [7] se divide en dos:

4 proteasas:Tipo de enzima que descompone las proteínas en proteínas más pequeñas o unidades proteicas más pequeñas, como péptidos o aminoácidos.

5 desaminación: Eliminación de un grupo amino (NH2) de un compuesto químico

6 enzima proteolítica: proteasas

7 péptidos:Molécula formada por la unión covalente de dos o más aminoácidos.

1-Proteína Degradable en el rumen (PDR)

La PDR se degrada en el rumen por la acción de la flora ruminal. Al degradarse la proteína en el rumen se liberan dipéptidos y aminoácidos, que pueden ser utilizados directamente por los microorganismos del rumen para sintetizar la proteína microbiana; los aminoácidos también pueden ser desaminados y generar amoníaco que, a su vez, también puede ser utilizado por las bacterias ruminales para sintetizar de nuevo todos los aminoácidos, incluidos los esenciales.

2- Proteína no degradada en el rumen (PNDR)

Es la proteína del alimento que llega al abomaso sin degradar.

En el contenido que llega al duodeno de los rumiantes se encuentran estas tres fracciones proteicas diferentes:

– Proteína del alimento no degradada (PNDR).

– Proteína microbiana.

– Proteína endógena, constituida por descamaciones y secreciones del tracto digestivo.

La proteína microbiana que abandona el rumen es suficiente para cubrir las necesidades de aminoácidos de los rumiantes en mantenimiento o en niveles de producción bajos. También la proteína microbiana presenta un buen perfil de aminoácidos, siendo su concentración en lisina y metionina (con frecuencia los dos primeros aminoácidos limitantes de la producción lechera) similar a la de la leche.

Como ya se ha comentado, los microorganismos ruminales degradan los hidratos de carbono en el rumen, produciendo ácidos grasos volátiles, que son la principal fuente de energía para el rumiante y precursores de la síntesis de la glucosa (ácido propiónico) y de la grasa corporal y láctea (ácido acético y butírico).

Por ello, cuando se formulan dietas para los rumiantes se busca maximizar la síntesis de proteína microbiana, por lo que la dieta debe aportar suficiente PDR y energía a los microorganismos ruminales.

4.5.5.1 Nitrógeno y excreción en rumiantes

Atendiendo a los distintos componentes que podían analizarse, la determinación del nitrógeno presente en las heces del ganado vacuno se presentó como la opción más viable para este proyecto.

Completando la información ya expuesta sobre la digestión, actualmente para producir carne de vacuno de calidad se administra al ganado una alimentación rica en carbohidratos no fibrosos. En el rumen proliferan bacterias amilolíticas que pueden degradar estos nutrientes; además, son capaces de desaminar los aminoácidos de las proteínas y obtener amoniaco para sintetizar nuevos aminoácidos. Las bacterias celulíticas, responsables de la degradación de los carbohidratos estructurales (celulosa), no tienen esta capacidad y necesitan amoníaco ruminal libre para la síntesis microbiana (Russell et al., 1992). Esta diferencia en la capacidad de fermentar carbohidratos no fibrosos y carbohidratos estructurales, entre poblaciones bacterianas, evita la competencia entre ellas con respecto a los aminoácidos vegetales como fuente de amoníaco (Griswold et al., 2003).

Esta capacidad de las bacterias ruminales para sintetizar proteína microbiana a partir de amoníaco permite la utilización en las fórmulas de pienso de rumiantes de fuentes de nitrógeno no proteico (NNP), en forma de urea, que es una forma de abaratar los costes de alimentación. Pero también, disponer de NNP es indispensable para las bacterias celulíticas, ya que, como ya se ha expuesto, no tienen una buena capacidad para desaminar los aminoácidos disponibles (Boucher et al., 2007).

4.6 RELEVO GENERACIONAL

Para concluir con el marco teórico, se aborda la problemática del relevo generacional en el sector agrario, un proceso vital para la continuidad de la producción y las economías rurales. Se analizan las dificultades que enfrentan los jóvenes para incorporarse, las medidas de apoyo existentes en la Política Agraria Común (PAC) y la percepción de los propios ganaderos sobre la falta de rentabilidad y el exceso de burocracia.

Este término describe el paso de las explotaciones de una generación a la siguiente. Este proceso es esencial para mantener la producción de alimentos, sostener las economías rurales y conservar el conocimiento local acumulado por décadas de trabajo en el campo. Sin embargo, los datos recientes muestran una realidad preocupante: cada vez hay menos jóvenes que deciden dedicarse a la agricultura y la ganadería, mientras que la mayoría de los titulares actuales se acercan a la jubilación (Newtral, 2024).

La sucesión de las explotaciones agrarias no es solo un asunto familiar. Como señalan diferentes estudios, sus efectos se extienden al conjunto del sector agrario, influyendo en su capacidad de adaptación y su continuidad. Tradicionalmente se distinguen dos vías de incorporación: quienes heredan la explotación dentro de la familia y quienes llegan desde fuera, los llamados new entrants. Aunque se suele pensar que la herencia garantiza la continuidad, la evidencia muestra que muchas explotaciones familiares europeas se abandonan, se venden o se alquilan, mientras que las incorporaciones externas no conducen necesariamente a la discontinuidad. En ambos casos, la relación entre quien deja la explotación y quien la toma, así como las prácticas agrícolas, son factores decisivos (Espejo Marín, 1996).

Las dificultades para renovar el sector se traducen en un escenario donde predominan agricultores de mayor edad y donde el acceso de jóvenes resulta cada vez más complejo (RTVC Canarias, s.f.). Esta situación se relaciona estrechamente con otro fenómeno: el abandono de tierras. En varias regiones de Europa, el abandono agrario se ha extendido y sus causas combinan condiciones climáticas poco favorables, explotaciones pequeñas o con bajos rendimientos, y factores socioeconómicos como el desempleo o la emigración. Sus efectos son significativos, desde la pérdida de fertilidad del suelo hasta la reducción de la multifuncionalidad del territorio, incrementando además riesgos como incendios, plagas o deterioro ambiental.

Ante este panorama, se vuelve fundamental contar con políticas que faciliten el acceso a la tierra, apoyen la incorporación de jóvenes y permitan gestionar adecuadamente las explotaciones infrautilizadas. Disponer de registros actualizados y de mecanismos que permitan ceder tierras sin uso a nuevos agricultores sería un paso clave para garantizar la continuidad del sector y el futuro de las zonas rurales.

POLÍTICA AGRARIA COMÚN (PAC)

El acceso a la tierra: La Política Agraria Común (PAC) 2023-2027 aborda el relevo generacional a través de un Objetivo Específico y una Estrategia de Relevo Generacional, que cuenta con un aumento presupuestario significativo. El principal instrumento de apoyo directo es la Ayuda Complementaria a la Renta para Jóvenes Agricultores, que proporciona una ayuda económica durante la fase de instalación. En cuanto al acceso a la tierra, la Estrategia se enfoca en promover:

- Prioridad en el uso de tierras: Establece mecanismos nacionales para facilitar la cesión de tierras públicas y municipales a jóvenes y nuevos agricultores.
- Movilización de tierras: Fomenta el desarrollo de plataformas o bancos de tierras y apoya la planificación de la sucesión a través de asesoramiento y mentoría especializada (INTIASA, s.f.).
- Reserva Nacional de Derechos de Pago Básico: Garantiza que los jóvenes agricultores y los recién incorporados (new entrants) reciban derechos de pago por un importe superior al medio nacional, equiparando sus condiciones de acceso para compensar la falta de historial agrario (Senado de España, s.f.).

Además de esto existe desde 2022 una ayuda para jóvenes agricultores de entre 18 y 40 años cofinanciada por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) y por la Administración General del Estado para favorecer las nuevas incorporaciones.

Entrevistas:

¿Qué opinan los ganaderos y personas del sector? Para darle visibilidad a la realidad que viven cada día los trabajadores de este sector, he realizado una serie de entrevistas que muestran la opinión y cómo afecta el relevo generacional.

Adjuntamos la lista de preguntas que han contestado los diferentes entrevistados:

1. ¿Qué opinas sobre el relevo generacional?
2. ¿Crees que las medidas actuales son suficientes?
3. ¿Por qué crees que los jóvenes no están motivados a trabajar en el sector primario?
4. ¿cómo solucionarías tú este problema?
5. ¿Qué es lo que te motivó a ti a trabajar en este sector?
6. ¿Qué crees que causa el desconocimiento que hay acerca del sector primario en las nuevas generaciones?

En líneas generales, las opiniones son bastante uniformes destacando la falta de un relevo generacional potente que generalmente relacionan con la "esclavitud" que presenta trabajar en este sector en contraposición con otros trabajos, ya que estar a cargo de estos seres vivos, les impide tener días completamente libres.

Los trabajadores del sector señalan que las medidas políticas actuales son insuficientes o simples "parches" que no solucionan nada frente a la falta de rentabilidad, las

elevadas inversiones iniciales y hacen hincapié en el exceso de burocracia exigida que ralentiza la incorporación de jóvenes. La demanda es clara: se necesitan políticas y legislación que provengan del propio sector, que ofrezcan una mejor recompensa económica y simplifiquen drásticamente el acceso a la tierra y a las ayudas.

Finalmente, la continuidad de esta industria enfrenta riesgos debido a la desconexión y la falta de reconocimiento social. Los participantes en la entrevista lamentan el hecho de que la población urbana no aprecie ni visibilice el esfuerzo que implica la producción de alimentos. No obstante, quienes participan en él, se sienten impulsados por una gran pasión, la tradición y la escasa monotonía del trabajo. Para garantizar el futuro del campo, es necesario convertir el apoyo teórico en acciones concretas para los productores, mejorando el nivel social y económico de este sector fundamental sin el cual no subsistiríamos.[8]

5. EXPERIMENTACIÓN

5.1 Justificación y Objetivo

En un primer momento, durante la fase de selección del tema, se consideró la posibilidad de estudiar la calidad de la carne en función del tipo de pienso consumido por los animales. Sin embargo, tras una primera aproximación metodológica, se concluyó que este experimento no era factible debido a los requerimientos que implicaban y las limitaciones técnicas y logísticas con las que contaba.

Ante esta situación, se llevó a cabo un análisis para valorar alternativas que se ajustaran mejor a los recursos disponibles. Además, tras dialogar con distintas personas con experiencia en el ámbito (entre ellas profesorado, profesionales del sector y compañeros) se reflexionó colectivamente sobre las opciones posibles. Como resultado de estas conversaciones y del análisis de la información recabada, se decidió finalmente centrarse en el estudio del nitrógeno en las heces, ya que permitía obtener datos relevantes para evaluar la alimentación del ganado y era metodológicamente realizable dentro del marco del proyecto.

En el ganado vacuno el consumo total de nitrógeno es el factor más importante que influye en la excreción de este, en heces y orina. Si se disminuye el contenido de nitrógeno en las dietas, se podrá reducir significativamente la excreción total de este mineral. En dietas bajas en PDR, el nitrógeno fecal representa una mayor proporción del nitrógeno consumido (valores máximos del 50%) que el nitrógeno de la orina. En cambio, cuanto la PDR de la dieta aumenta, el nitrógeno fecal disminuye y la excreción del nitrógeno urinario puede aumentar rápidamente y llegar a representar un 60% del nitrógeno total consumido (Dijkstra et al., 2011).

El estudio de este proyecto se basará en el análisis de muestras fecales provenientes de vacas y terneros de distintas edades, raza, finalidad productiva, con varios tipos de alimentación, con el objetivo de estudiar la relación de la proteína bruta y el contenido de nitrógeno en las heces.

5.2 Recogida y Preparación de Muestras

Visitamos distintos tipos de explotaciones, hablamos con los ganaderos para explicarles en qué consistía el proyecto y se les preguntó si querían participar. Cuando nos daban el consentimiento, se procedía a la recogida de muestras, de forma manual, recogiendo las heces con guantes de látex esperando a que realizaran la deposición en el momento y la muestra estuviese lo menos alterada posible; guardándolas en bolsas herméticas indicando la edad del ternero, el pienso que consumían y la ganadería de las que las habíamos extraído.

Posteriormente, para su análisis las muestras debían ser preparadas. Para ello, fueron secadas en una estufa a una temperatura alrededor de los 100 ºC, para poder triturarlas en el molinillo. Posteriormente, se introdujeron en la Leco CN-628, donde serán analizadas.

5.3 Equipamiento y Parámetros Analizados

Máquinas usadas en el proceso y funcionamiento:

- Molino Retsch ZM 300: Los molinos de rotor se emplean para la molienda fina y rápida de materiales blandos a semiduros, así como termosensibles o fibrosos. Ofreciendo el máximo rendimiento de trituración. La velocidad variable de 6.000-23.000 rpm permite una preparación de la muestra suave y adecuada para el análisis en el menor tiempo posible.

8 Para leer las entrevistas completas véanse anexos



Figura 13 Retsch GmbH. (s.f.). Molino de rotor ZM 300 [Fotografía]. Retsch. Recuperado de https://www.retsch.com/es/productos/molienda/molinos-de-rotor/zm-300/

- Leco CN-628: El instrumento permite analizar el nitrógeno, la relación carbono/nitrógeno y los elementos CN (carbono y nitrógeno) en matrices orgánicas. Mediante una técnica de combustión, el instrumento ofrece resultados en unos 4,5 minutos para todos los elementos analizados. El funcionamiento del sistema y la gestión de los datos se llevan a cabo mediante un software específico, controlado por un PC externo, que permite supervisar las operaciones del instrumento y procesar los resultados de los análisis.

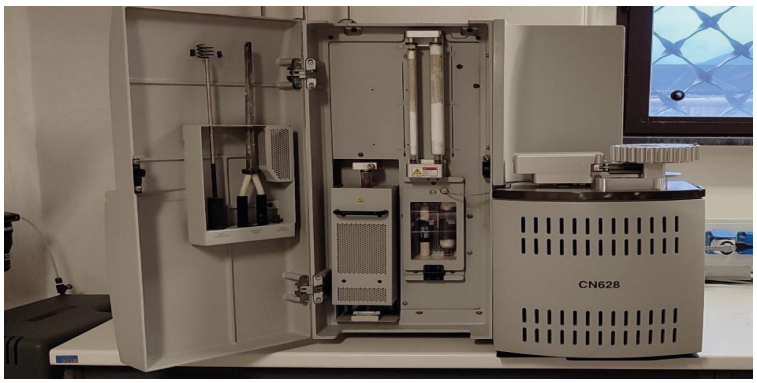


Figura 14 Analizador elemental LECO CN 628 [Fotografía]. Exapro. Recuperado de https://www.exapro.es/leco-cn-628-p250303201/

- NIR: Espectrómetro NIR (Infrarrojo Cercano): Es el equipo fundamental para el análisis rápido y no destructivo de las muestras de pienso y heces. Esta técnica consiste en aplicar radiación infrarroja (longitud de onda entre 780 y 2.500 nm) sobre la muestra. Basándose en la Ley de Lambert-Beer, la energía absorbida por los enlaces químicos (-CH, -NH y -OH) es directamente proporcional a la concentración de los componentes. A través de modelos de calibración que comparan la información espectral con métodos de referencia, el equipo permite predecir los valores de atributos específicos en muestras desconocidas de forma casi instantánea.



Figura 15. Espectrómetro NIR (Infrarrojo Cercano).Elaboración propia

Parámetros analizados: Se han analizado los distintos tipos de piensos en un NIR para obtener los valores de, proteína bruta (PB), grasa bruta, fibra bruta, humedad, contenido en almidones y cenizas. Por otro lado, en las muestras de heces recogidas, se han analizado el contenido en PB y el contenido en nitrógeno.

Aquí dejo un video documentando el paso a paso de la preparación de las muestras: vídeo experimentación.

Las materias primas que entran en la composición de los piensos objeto del estudio son las siguientes (a las que posteriormente deberemos atender para poder realizar el análisis de los resultados):

1. Pienso Crecimiento

- Carbohidratos: Maíz, Cebada, Centeno, DDG Maíz.
- Proteína: Harina de soja 47%, Colza, Urea.
- Grasas: Aceite de palma, Palmiste.
- Aditivos/Minerales: Carbonato cálcico, Sal mina, Secuestrante de micotoxinas, Corrector vitamínico-mineral 1.

2. Pienso Cebo

- Carbohidratos: Maíz, Cebada, Centeno, DDG Maíz.
- Proteína: Colza, Urea.
- Grasas: Aceite de palma, Aceite de soja, Palmiteste.
- Aditivos/Minerales: Carbonato cálcico, Sal mina, Bicarbonato sódico, Secuestrante de micotoxinas, Corrector vitamínico-mineral 1, Corrector vitamínico-mineral 2.

3. Pienso Acabado

- Carbohidratos: Maíz, Cebada, Trigo 2025.
- Proteína: Harina de soja 47%, Colza, Urea.
- Grasas: Aceite de palma.
- Aditivos/Minerales: Carbonato cálcico, Sal mina, Corrector vitamínico-mineral 2, Corrector vitamínico-mineral 3.

4. Tacos Vacas

- Carbohidratos: Cebada, Cebada 2024.
- Proteína: Harina de soja 47%, Cloruro de amonio.
- Grasas: Aceite de palma.
- Aditivos/Minerales: Carbonato cálcico, Sal mina.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La concentración de nitrógeno fecal puede ser un indicador de interés para valorar la utilización, por parte de los animales de producción, del nitrógeno ingerido en la dieta y la calidad de la misma. También para valorar el nivel de excreción de este mineral al medio ambiente.

Analizando los resultados medios obtenidos sobre el contenido de nitrógeno en las heces para el pienso de crecimiento y el de cebo, con una aportación de proteína bruta (PB) similar, observamos que, en los terneros en crecimiento, la excreción de nitrógeno es algo menor, 2,08 % frente a 2,25% en los terneros en cebo. Esta diferencia es debida a que los animales en fase de crecimiento tienen unas necesidades mayores de proteínas para el desarrollo de su masa muscular, lo que exige una mayor aportación de nitrógeno y, por tanto, una menor tasa de no utilización del mismo.

En el caso de los terneros alimentados con pienso de acabado, los valores medios obtenidos de excreción de nitrógeno, a través de las heces, han sido sensiblemente más bajos que con los otros dos piensos (1,84 %). El contenido proteico más bajo (PB 11,5%) del pienso de acabado explicaría estos datos.

Aunque el pienso con el que se han alimentado las vacas presenta el valor proteico más alto (PB 16%), la diferencia con los terneros es que estos consumen el pienso ad libitum y las vacas comen el pienso racionado, del orden de 3 kg/día. Las vacas ingresan menor cantidad de nitrógeno total y por lo tanto los valores medios de excreción de nitrógeno obtenidos también son bajos, 1,89%.

Aquí se muestran los resultados obtenidos para una mayor comprensión del análisis.

REFERENCIA	MUESTRA	PIENSO usado	PROTEINA %	MEDIA %	NITROGENO %	MEDIA%	PB pienso	urea pienso
7218/25	HECES 1	crecimiento	14,486		2,3177		13,22	0,25
7218/25	HECES 1	crecimiento	14,278		2,2845	2,29	13,22	0,25
7218/25	HECES 1	crecimiento	14,255	14,33	2,2808		13,22	0,25
7218/25	HECES 1	crecimiento	14,476		2,3162		13,22	0,25
7218/25	HECES 1	crecimiento	14,442		2,3107	2,32	13,22	0,25
7218/25	HECES 1	crecimiento	14,5	14,47	2,3199		13,22	0,25
7218/25	HECES 2	crecimiento	11,857		1,8972		13,22	0,25
7218/25	HECES 2	crecimiento	11,769		1,8831	1,87	13,22	0,25
7218/25	HECES 2	crecimiento	11,568	11,73	1,8508		13,22	0,25
7218/25	HECES 3	crecimiento	11,818		1,8909		13,22	0,25
7218/25	HECES 3	crecimiento	11,796		1,8874	1,87	13,22	0,25
7218/25	HECES 3	crecimiento	11,425	11,67	1,828		13,22	0,25
						2,08		

Figura 16. Tabla de resultados 1. Elaboración propia

REFERENCIA	MUESTRA	PIENSO usado	PROTEINA %	MEDIA %	NITROGENO %	MEDIA%	PB pienso	urea pienso
7218/25	HECES 1	cebo	11,64		1,863		13	0,5
7218/25	HECES 1	cebo	11,04		1,7663	1,82	13	0,5
7218/25	HECES 1	cebo	11,41	11,36	1,8255		13	0,5
7218/25	HECES 2	cebo	16,661		2,6657		13	0,5
7218/25	HECES 2	cebo	16,574		2,6518	2,65	13	0,5
7218/25	HECES 2	cebo	16,529	16,59	2,6447		13	0,5
7218/25	HECES 2	cebo	16,902		2,7043		13	0,5
7218/25	HECES 2	cebo	17,085		2,7337		13	0,5
7218/25	HECES 2	cebo	17,027	17	2,7243	2,72	13	0,5
7218/25	HECES 3	cebo	11,546		1,8474		13	0,5
7218/25	HECES 3	cebo	11,526		1,8442	1,83	13	0,5
7218/25	HECES 3	cebo	11,308	11,46	1,8093		13	0,5
						2,25		

Figura 17. Tabla de resultados. Elaboración propia

REFERENCIA	MUESTRA	PIENSO usado	PROTEINA %	MEDIA %	NITROGENO %	MEDIA%	PB pienso	urea pienso
7218/25	HECES 1	acabdo	10,26		1,6042		11,5	0,65
7218/25	HECES 1	acabdo	9,7566		1,5611	1,6	11,5	0,65
7218/25	HECES 1	acabdo	10,188	9,99	1,6301		11,5	0,65
7218/25	HECES 2	acabdo	12,577		2,0124		11,5	0,65
7218/25	HECES 2	acabdo	12,381		1,981	1,98	11,5	0,65
7218/25	HECES 2	acabdo	12,223	12,39	1,9557		11,5	0,65
7218/25	HECES 3	acabdo	17,201		2,0521		11,5	0,65
7218/25	HECES 3	acabdo	17,051		1,9282	1,93	11,5	0,65
7218/25	HECES 3	acabdo	17,658	17,3	1,8253		11,5	0,65
						1,84		

Figura 18. Tabla de resultados 3. Elaboración propia

REFERENCIA	MUESTRA	PIENSO usado	PROTEINA %	MEDIA %	NITROGENO %	MEDIA%	PB pienso	urea pienso
7218/25	HECES 1	tacos vacas	12,929		2,0687		16	-
7218/25	HECES 1	tacos vacas	12,989		2,0783	2,08	16	-
7218/25	HECES 1	tacos vacas	13,176	13,03	2,1079		16	-
7218/25	HECES 2	tacos vacas	11,454		1,8327		16	-
7218/25	HECES 2	tacos vacas	11,468		1,8349	1,83	16	-
7218/25	HECES 2	tacos vacas	11,551	11,49	1,8482		16	-
7218/25	HECES 3	tacos vacas	10,93		1,7488		16	-
7218/25	HECES 3	tacos vacas	11,008		1,7614	1,75	16	-
7218/25	HECES 3	tacos vacas	10,956	10,96	1,7529		16	-
						1,89		

Figura 19. Tabla de resultados 4. Elaboración propia

El margen de error no es considerado ya que el proyecto se enfoca en la medición directa y exacta de los componentes (nitrógeno y proteína bruta) de las muestras utilizando dispositivos de laboratorio de alta precisión (como el Leco CN-628 y el NIR). Los resultados obtenidos son cifras específicas y descriptivas de la composición de las heces y los piensos examinados, con el objetivo de validar las relaciones observadas, en lugar de realizar una generalización estadística.

7. CONCLUSIONES

7.1. Verificación de la Hipótesis y Eficiencia Nutricional

La hipótesis central de la investigación ha sido confirmada: el tipo de pienso consumido por los bovinos influye en la cantidad de nitrógeno excretado en las heces.

Los resultados experimentales demuestran una relación directa entre el contenido de proteína bruta (PB) de la dieta y el nivel de nitrógeno fecal, con variaciones clave según la fase productiva:

1. Impacto de la PB: Los piensos con el menor contenido proteico generaron la menor excreción media de nitrógeno (1.84%), mientras que los piensos de Crecimiento y Cebo, con contenido en PB similar mostraron valores ligeramente superiores (2.08% y 2.25%).
2. Rol de la Ingesta: Aunque la alimentación de las vacas presentaba la PB más alta (16%), su excreción de nitrógeno fue baja (1.89%) debido a la alimentación racionada. Esto subraya que no solo la concentración de PB es relevante, sino también la cantidad total de nitrógeno ingerido por el animal.
3. Base Científica: Esta variación valida el principio de que el nitrógeno ingerido en exceso, o aquel que no puede ser utilizado por los microorganismos ruminales para sintetizar proteína microbiana (por falta de energía o carbohidratos fermentables), es desechado rápidamente en forma de urea y excretado.

En resumen, la gestión del nitrógeno se revela como un indicador fundamental de la eficiencia: una menor excreción de nitrógeno indica una mayor eficiencia en la utilización de los nutrientes por parte del rumiante.

7.2. Implicaciones Ambientales y Sostenibilidad

La consecución del objetivo de sostenibilidad se vincula directamente a la reducción de nitrógeno excretado. El análisis en el Marco Teórico establece que el nitrógeno no aprovechado es la fuente de contaminantes ambientales críticos:

- Contaminación del Aire: El nitrógeno urinario (urea) se hidroliza rápidamente a amoníaco y, junto con el exceso de nitrógeno en el suelo, contribuye a la formación de Óxido Nitroso, un GEI 300 veces más potente que el dióxido de carbono.
- Contaminación del Agua/Suelo: El exceso de nitrógeno contamina acuíferos y aguas superficiales.

Por lo tanto, al demostrar la conexión entre el nivel de PB en el pienso y la excreción de nitrógeno, el proyecto justifica la adopción urgente de estrategias nutricionales como la principal herramienta de mitigación ambiental en el sector ganadero.

7.3. Estrategias para la Reducción de Emisiones de Nitrógeno

Para entender mejor las estrategias nutricionales encaminadas a reducir la excreción de nitrógeno en las heces y en la orina es conveniente conocer cómo es el metabolismo de este elemento a lo largo del tracto digestivo de un rumiante, así como los factores que determinan la utilización metabólica de las proteínas. Todo ello con el objetivo de ajustar el aporte proteico en la dieta a las necesidades de los rumiantes con la mayor precisión posible y siempre sin perjudicar los parámetros productivos de los animales.

¿Cuáles son estas estrategias?

- Reducción del contenido de PB en las dietas. Estudios como el de Huhtanen y Hristov (2009) han demostrado que la cantidad de PB es el principal factor que afecta la eficacia de utilización del nitrógeno. Por lo tanto, el objetivo en terneros de engorde en sistema intensivo es reducir el nivel de proteína bruta de la dieta sin perjudicar el crecimiento y el IC [9] , y en consecuencia reducir la contaminación medioambiental.

- Mejorar la digestibilidad de la proteína de la dieta. El aumento del contenido de proteína de la dieta, a través de fuentes de nitrógeno no proteico, conduce a un aumento en la digestibilidad de la proteína de la dieta, del nitrógeno no proteico y de los carbohidratos estructurales, en particular de la fracción de celulosa. Ajustar la nutrición y mejorar la eficiencia de los nutrientes, reduce el impacto ambiental de la ganadería.

- La alimentación por fases. Es decir, ajustar la alimentación a la edad y estado productivo de los animales. Se puede aplicar al vacuno de carne, de modo que el contenido de PB de la dieta descienda gradualmente de 160 g/kg a 120 g/kg de MS [10] con el tiempo. Es la denominada alimentación de precisión.

- Sustitución de parte de la PB por aminoácidos. El uso de aminoácidos protegidos para evitar la acción de las bacterias del rumen, taninos y otros aditivos que permiten la reducción de la ingesta de nitrógeno y su mejor utilización. La digestibilidad de la proteína y su flujo por el intestino van a variar según la ración, por lo que será necesario el ajuste de las dietas.

Por tanto, la reducción del PB en las dietas, sustituyendo parte del mismo por aminoácidos, introduciendo fuentes de nitrógeno no proteico y adaptando la alimentación a las fases de crecimiento del animal serían las estrategias adecuadas para reducir el nitrógeno excretado y, por tanto, las emisiones de nitrógeno.

8. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En futuras investigaciones, además de incorporar los aspectos ya analizados, sería altamente beneficioso ampliar el estudio del nitrógeno presente en las heces bovinas desde una visión más transversal.

Por un lado, se podría profundizar en cómo el relevo generacional dentro del sector, especialmente desde una perspectiva de género, influye en la adopción de prácticas alimentarias más sostenibles y en la gestión de residuos ganaderos. Asimismo, resultaría relevante evaluar con mayor detalle el efecto que el nitrógeno excretado tiene sobre suelos destinados a fines productivos, analizando cómo su acumulación o transformación puede modificar la fertilidad y la salud del ecosistema. También sería oportuno explorar con mayor precisión de qué manera la alimentación del ganado repercute en la calidad final de la carne, conectando así los cambios en la dieta con los impactos ambientales asociados. Por último, convendría profundizar en la búsqueda de estrategias que permitan reducir el volumen de nitrógeno en las heces —ya sea a través de ajustes en el pienso, aditivos nutricionales o mejoras en la formulación de la ración— con el fin de avanzar hacia una producción ganadera más eficiente y respetuosa con el entorno.

9 Índice de conversión:cantidad de alimento (kilogramos de pienso) necesarios para reponer 1 kilogramo de peso vivo de carne.
10 Materia seca: la porción no acuosa de un ingrediente alimenticio o dieta

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baldasano, J. M. (s.f.). [Declaración o informe sin fecha sobre la composición de los GEI y el vapor de agua].
- Boucher, S. E., Calsamiglia, S., & Mitloehner, F. M. (2007). Evaluation of the contribution of urea-N to bacterial nitrogen supply in the rumen of lactating dairy cows consuming a diet containing a high proportion of non-protein nitrogen. *Journal of Dairy Science, 90*(Suppl 1), 606.
- Caro, D., Davis, K. F., Bastianoni, S., & Rulli, M. C. (2016). The water-energy-food nexus and its relevance to the beef production chain. *The Science of the Total Environment, 547*, 347–354.
- Center for Systems Science and Engineering. (s.f.). *COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University*. Johns Hopkins University. Recuperado el 25 de mayo de 2020 de https://gisanddata.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6.
- CIAP – Centro de Investigación de Agroindustria y Producción. (s.f.). *Manual de nutrición anima*l. Recuperado de https://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/ManualdeNutricionAnimal.pdf.
- De la Calle Campos, B. (s.f.). Nutrición de precisión en vacuno. Rumiantes. Recuperado de https://rumiantes.com/nutricion-precision-vacuno/.
- Dijkstra, J., Oenema, O., Van Groenigen, J. W., Spek, J. W., Van Kessel, J. S., & Tamminga, S. (2011). Quantification of the effect of diet on the emission of nitrogen from the dairy chain. *Journal of Dairy Science*, 94(12), 6128–6137.
- Doreau, M., Giger-Reverdin, S., & Boval, M. (2012). Water use in livestock production. *Cahiers Agricultures*, 21(6), 333–338.
- Espejo Marín, C. (1996). El sistema de explotación ganadera. *Lurralde: Investigación y espacio*, (19), 77-88. Recuperado de https://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur19/19espej/19espejo.htm.
- Espinosa, A. (s.f.). Actividad ganadera y contaminación. *Revista RADE*. Recuperado de https://www.rade.es/imageslib/PUBLICACIONES/ARTICULOS/V6N2-04%20-%20ESPINOSA%20-%20actividad%20ganadera.pdf.
- Fernández, C. (2022). Una perspectiva sobre el impacto ambiental de los rumiantes en nuestra sociedad. *rumiNews, Septiembre*.
- Fernández, C., & Bacha, F. (2023). Papel de los rumiantes en el ciclo biogénico del carbono. *rumiNews, Marzo*. Recuperado de https://rumiantes.com/papel-rumiantes-ciclo-biogenico-carbono/.
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). (2021). *Tratamiento tecnológico de los alimentos*. Recuperado de https://fedna.biolucas.com/wp-content/uploads/2021/11/96CAP_XIII.pdf.
- Griswold, K. E., Tichenor, D. A., & Vanzant, E. S. (2003). Effects of varying ruminally degradable protein and ruminally available carbohydrate on intake, digestion, and microbial nitrogen synthesis in steers fed a low-quality hay. *Journal of Animal Science, 81*(5), 1324-1331.
- Huisman, J. (1989). [Título del capítulo de Huisman]. En E. J. van Weerden & J. Huisman (Eds.), *Nutrition and digestive physiology in monogastric farm animals* (p. 101). Pudoc.
- INATEC – Instituto Nacional Tecnológico. (2016). *Manual para la elaboración de raciones alimenticias y balance de dietas para ganado bovino en la producción de carne*.
- INTIASA – Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias. (s.f.). *Asesoramiento a jóvenes agricultores: relevo generacional*. Recuperado de https://www.intiasa.es/web/es/asesoramiento/jovenes/relevo-generacional.
- Konig, H. G. (1994). Aumento de la higiene del alimento. Ponencia presentada en el *3rd International KAHL Symposium on Feed Technology*, Hamburgo, Alemania.
- Lassiter, C. A., & Edwards, L. D. (1983). *Nutrición animal*. Editorial Continental.
- MedlinePlus. (s.f.). *Metahemoglobinemia*. Recuperado de https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000562.htm.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). (1996). Los piensos compuestos en España. *Revista del MAPA, 82*, 34–40. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_mg/mg_1996_82_34_40.pdf.
- Mitloehner, F. M. (CLEAR Center). (s.f.). [Declaración o informe sin fecha sobre el uso de "tierras marginales" y el agua azul].
- Newtral. (2024, 12 de febrero). *¿Por qué falta relevo generacional en la agricultura?* Recuperado de https://www.newtral.es/relevo-generacional-agricultura/20240212/.
- Pasquini, C. (2018). Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives – A review. *Analytica Chimica* Acta, 1026, 8-36.
- Peisker, M. (1992). Improving feed quality by expansion. *International Milling Flour and Feed, 185*, 15.
- Peisker, M. (1995). Posibilitar la fabricación de alimentos de alta concentración energética por adición de grasa. [Fuente Desconocida].

- Peisker, M. (1996). *Tratamiento tecnológico de los alimentos y sus implicaciones nutricionales*. Ponencia presentada en el XII Curso de Especialización FEDNA, Madrid.
- Pellet-Richi. (s.f.). *Proceso de producción de pellets de alimento para ganado*. Recuperado de https://www.pellet-richi.com/es/news/industry-326.html.
- POBALLE. (s.f.). *Harina zootécnica y sus ventajas para el ganado*. Recuperado de https://poballe.com/harina-zootecnica-sus-ventajas-para-tu-ganado/.
- POBALLE. (2023). *Catálogo de productos para alimentación animal* [Catálogo]. Recuperado de https://poballe.com/wp-content/uploads/2023/09/poballe-catalogo-productos-alimentacion-animal.pdf.
- Real Decreto 1053/2022, de 27 de diciembre, por el que se establecen normas de ordenación de las granjas bovinas. (2022). *Boletín Oficial del Estado, 312*, de 29 de diciembre de 2022. Recuperado de https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/12/27/1053/dof/spa/pdf.
- Retsch. (s.f.). *Molino de rotor ZM 300*. Recuperado de https://www.retsch.es/es/productos/molienda/molinos-de-rotor/zm-300/.
- RTVC Canarias. (s.f.). *La falta de relevo generacional preocupa al sector primario*. Recuperado de https://rtvc.es/la-falta-de-relevo-generacional-preocupa-al-sector-primario/.
- Ruminal CEVA. (s.f.). *Materias primas en alimentación animal*. Recuperado de https://ruminants.ceva.pro/es/alimentacion-animal.
- Russell, J. B., O'Connor, J. D., Fox, D. G., Van Soest, P. J., & Sniffen, C. J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*, 70(11), 3551–3561.
- Salcedo Díaz, G. (s.f.). El bienestar del suelo agrícola en explotaciones de vacuno lechero. *Rumiantes*. Recuperado de https://rumiantes.com/bienestar-suelo-agricola-explotaciones-vacuno-lechero/.
- Sauer, W. C., Ozimek, L., & Szklarczyk, P. (1990). The effect of processing on the protein and amino acid availability in feeds for pigs. En *Proceedings of the 5th International Seminar on Digestive Physiology in Pigs*. Jablonna, Polonia.
- Senado de España. (s.f.). *Documento legislativo 196527*. Recuperado de https://www.senado.es/web/expedientdocblobservlet?legis=15&id=196527.
- Siesler, H. W., Ozaki, Y., Kawata, S., & Heise, H. M. (Eds.). (2002). *Near-Infrared Spectroscopy: Principles, Instruments, Applications*. Wiley-VCH.
- Sobrino, E. C., Calsamiglia, S., & Mitloehner, F. M. (1981). [Título del libro o informe sobre sistemas de producción intensiva]. [Editorial o Institución].
- Solimix. (s.f.). *Ventajas de la granulación en la fabricación de piensos para animales*. Recuperado de https://solimix.com/ventajas-granulacion-fabricacion-piensos-para-animales/.
- Sotillo Ramos, J. L., & Vijil Maeso, M. M. (1978). *Economía y planificación de explotaciones ganaderas*. [Editorial probable: Editorial Agrícola Española].
- Tribuna Ávila. (s.f.). *El relevo generacional en el sector primario, uno de los mayores desafíos de España*. Recuperado de https://www.tribunaavila.com/noticias/390297/el-relevo-generacional-en-el-sector-primario-uno-de-los-mayores-desafios-de-espana.
- Vera, A., & Vega, F. (1979). Futuro de la explotación ovina en España. Problemas, perspectivas y posibilidades. En *IV Jornadas de la Sociedad Española de Ovinotécnia* (pp. 329-356). Universidad de Zaragoza.
- Yáñez-Ruiz, D. R. (2020). Producción de metano en rumiantes: Importancia social & productiva. *rumiNews, Marzo*. Recuperado de https://rumiantes.com/produccion-de-metano-en-rumiantes-importancia-social-y-productiva/.

10 ANEXOS

Los anexos están disponibles en este link y QR

https://docs.google.com/document/d/11hGwfnnl3TW_SYc-GIA5--Kud8UF2YNu-loOdzzvX0jY/edit?usp=sharing

La eutanasia a los dos lados del océano

Estudio comparativo de la percepción de la muerte asistida en Canadá y España

Daniela Gutiérrez Arana

Tutora: Lola Moreno Frías

AGRADECIMIENTOS

Muchas gracias a mi tutora Lola por acogerme y guiarme a pesar de haber llegado un año más tarde que los demás.

A la socióloga Pepa Barral por ayudarme a elaborar una encuesta coherente y recordarme por qué las investigaciones sociales son tan importantes.

A todos aquellos que rellenaron y difundieron mi encuesta.

Finalmente, gracias a mis padres por apoyarme a lo largo de este proceso, me hubiese vuelto loca sin ellos.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....184
2. ABSTRACT.....184
3. INTRODUCCIÓN.....184
3.1 Justificación.....184
3.2 Hipótesis e hipótesis secundarias.....185
3.3 Objetivos.....185
4. MARCO TEÓRICO.....185
4.1 ¿Qué es la eutanasia?.....185
4.2 ¿Qué tipos de eutanasia hay?.....186
4.2.1 Eutanasia pasiva.....186
4.2.2 Eutanasia activa.....186
4.3 Suicidio asistido.....187
4.4 Fundamentos éticos de la eutanasia.....188
4.4.1 Principios bioéticos.....188
4.5 Legislación vigente en cada país.....190
4.5.1 Legislación española.....190
4.5.2 Legislación canadiense.....191
4.6 Estadísticas relacionadas con la eutanasia en ambos países.....192
4.6.1 En España.....192
4.6.2 En Canadá.....192
4.7 La individualidad en las sociedad canadiense y española.....193
5. METODOLOGÍA.....194
6. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS.....195
6.1 Resultados obtenidos en la encuesta realizada a españoles.....195
6.2 Resultados obtenidos en la encuesta realizada a canadienses.....200
7. CONCLUSIONES.....206
8. MÁRGENES DE ERROR.....207
9. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....207
10. BIBLIOGRAFÍA.....207
11. ANEXOS.....209

1. RESUMEN

La eutanasia está aprobada tanto en España como en Canadá. Este estudio se ha realizado con el fin de observar qué población acepta más esta práctica, y si el individualismo de cada sociedad y los principios bioéticos que se priorizan influyen en su aceptación.

Para poder validar la hipótesis, la experimentación se basó en dos encuestas: una en español para los españoles y la misma traducida al inglés para los canadienses. Estas se encontraban divididas en cuatro secciones distintas, cada una centrada en un aspecto distinto del tema: datos sociodemográficos, opiniones y actitudes frente la eutanasia, nivel de conocimiento e información y principios bioéticos.

Tras analizar la encuesta se llegó a la conclusión de que la población española, a pesar de ser menos individualista que la canadiense, presenta un mayor porcentaje de votos a favor de la eutanasia y da una mayor importancia a la autonomía del paciente. Ambos grupos presentaron una cierta desinformación con respecto al tema, ya que la eutanasia no suele ser un tema frecuentemente discutido.

Palabras clave: Eutanasia, bioética, autonomía del paciente, individualismo, España, Canadá, aceptación.

2. ABSTRACT

The practice of euthanasia has been legalized in both Spain and Canada. This project was conducted with the objective of examining which country is most likely to accept the practice, and if this tendency is influenced by the degree of individualism present in both communities and the bioethical principles that are considered more important in each one.

In order to validate the hypothesis, the experimental part of the project was based on two surveys: one in Spanish for the Spaniards and the same one translated to English for the Canadians. This survey was divided in four different parts, each one focusing on a different aspect: sociodemographic data, personal opinions on the topic, level of knowledge and bioethical principles.

The analysis of the survey's results lead to the conclusion that the Spanish population has a bigger tendency of accepting euthanasia and prioritizes the principle of autonomy, despite being a less individualistic society than Canada. Both groups had a large percentage of participants admit to their disinformation surrounding the topic since the concept of medically-assisted dying is one that isn't discussed with much frequency.

Keywords: Euthanasia, bioethics, principle of autonomy, individualism, Spain, Canada, acceptance.

3. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la eutanasia o la muerte médicamente asistida ha sido despenalizada en 10 países de 195. Aunque, con el paso del tiempo, más sociedades están aceptando el derecho a una muerte digna como fundamental dentro de la vida de las personas, el tema del fin de la vida no suele ser prioritario. Según la Sociedad Española de Medicina Interna en España hay de media 0.6 unidades paliativas por cada 100.000 habitantes, cuando debería haber 2, una hospitalaria y otra domiciliaria (SEMI, 2023). La muerte es un tema que, por lo general, incomoda a las personas, pero hay países que han decidido incorporarla en sus agendas y elaborar legislaturas que permiten que aquellos en condiciones críticas accedan a ella de una manera algo más fácil. A la hora de crear leyes que regulen procesos médicos, los gobiernos deben tener claros los principios bioéticos que deben priorizar, como por ejemplo la autonomía del paciente o la beneficencia de este. Estos principios no sólo ayudan a especificar los requisitos que se deben cumplir para acceder a estas ayudas, sino que también influyen en cómo la sociedad percibe estas mismas. En este proyecto, analizaré aquello que piensan los españoles y los canadienses sobre la muerte médicamente asistida y también intentaré concienciar a ambos grupos sobre el derecho de poder elegir cómo y cuándo poner fin a su vida.

3.1 Justificación

La idea de este trabajo surgió como lo contrario del proyecto que había conceptualizado inicialmente. En un principio, quería llevar a cabo un estudio que comparara todos aquellos espacios donde una mujer puede dar a luz, ya sea en un hospital, centro de maternidad o en el mismo hogar, para poder esbozar el lugar ideal para parir. No obstante, me di cuenta rápidamente de que el parto y todo aquello que lo rodea ya han sido minuciosamente estudiados, además de que la idea de diseñar el espacio óptimo para dar a luz es algo un

poco distópico. Las necesidades de las madres son tan variadas que pienso que lo mejor es que haya distintas opciones que se puedan acoger a sus necesidades, en vez de obligarlas a ajustarse a un lugar prediseñado. Tras darme cuenta de eso, me di cuenta de algo nuevo: las personas, yo incluida, solemos dar mucha importancia a cómo venimos a este mundo, olvidándonos que, antes o después, nos vamos a tener que ir. El tema de la muerte es tan complejo como incómodo. Por esto, muchas veces la mayoría de las personas se van de este mundo en peores condiciones que en las que vienen por miedo a enfrentarse al trámite que supone decidir cuándo quieren poner fin a su vida, entre otros factores. Esta idea me hizo interesarme no solamente en el tema de la muerte, sino en el de la muerte "digna" o "buena". En la mayoría de las sociedades casi no se discute el tema de la eutanasia, se ve como tabú, y por lo tanto, muchos de nosotros sufrimos una gran desinformación con respecto al tema de la muerte médicamente asistida y todo aquello relacionado con ella; ya sea la realización de un testamento de voluntades anticipadas o las distintas vías que ayudan a finalizar el sufrimiento que conlleva una enfermedad terminal o dolor crónico. Al volver de un año de intercambio en Canadá, me he dado cuenta de que en distintas sociedades se dan importancia a distintos principios. Esta realización ha sido el hilo conductor del proyecto, que ha comparado el tema de la eutanasia en dos países separados por el océano Atlántico.

3.2 Hipótesis e hipótesis secundarias

La sociedad canadiense, influida por una cultura más individualista, da mayor importancia a la autonomía del paciente y se muestra más propensa a aceptar la muerte médicamente asistida en comparación con la población española, menos individualista y con un enfoque de mayor equilibrio entre los principios bioéticos.

Las hipótesis derivadas de la principal son las siguientes:

- Aquellos rodeados por personas que aceptan el procedimiento son más propensos a también aceptarlo ellos mismos.
- Una mayor aceptación de la eutanasia en Canadá lleva a un mayor conocimiento sobre el todo aquello que implica (la ley que regula la eutanasia, como solicitarla, el testamento vital…) por parte de los canadienses. Los españoles también conocerán ciertos aspectos del tema pero no tanto como los canadienses.
- Esta mayor aceptación social también lleva a una perspectiva más favorecedora en los medios de comunicación, por lo que la información sobre la eutanasia consumida por los canadienses les hará percibir el tema de manera más favorecedora mientras que los españoles estarán menos impactados por los medios, o impactados de una manera más negativa.
- La población canadiense da una extremada importancia al principio bioético de la autonomía mientras que los españoles distribuyen su valoración de una manera más homogénea entre los cuatro principios.

3.3 Objetivos

El principal objetivo de este trabajo de investigación es analizar y comparar cómo las personas en España y Canadá perciben el tema de la muerte médicamente asistida.

Aparte de este objetivo principal, esta investigación también presenta otros objetivos más específicos:

1. Comparar qué grupo está más informado sobre el tema y cuáles son los medios de comunicación por los que consumen la mayoría de la información sobre la eutanasia.
2. Ver sí aquellos que consideran estar rodeados de personas que aceptan y conocen la ley de la eutanasia tienden más a aceptarla.
3. Dar a conocer y aportar información a las personas sobre la muerte digna para que sean conscientes de las distintas opciones que están disponibles en sus países.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 ¿Qué es la eutanasia?

La eutanasia es un procedimiento médico, realizado únicamente con el consentimiento del paciente, diseñado para poner fin a la vida de aquellos que padecen de una enfermedad terminal o de un dolor extremo e incesante. Esta práctica ha estado presente en nuestra sociedad desde la Prehistoria, donde ocurrían suicidios causados por la vejez o la muerte de un marido. Sin embargo, el término "eutanasia" se formó en la antigua Grecia, donde "eu" significaba bueno y "thanatos" muerte, dando lugar a la noción de la "buena muerte" (*Frame1*, s. f.).

Hoy en día, en el mundo occidental, se considera un último recurso, que puede ser suministrado de distintas formas y en distintos lugares, dependiendo del caso del paciente.

El primer país en despenalizar y regular la eutanasia mediante leyes específicas fue Países Bajos en 2002. Desde entonces el suicidio asistido ha sido despenalizado en sólo diez países: Suiza, Países Bajos, Luxemburgo, España, Alemania, Colombia, Canadá, Nueva Zelanda y algunos estados tanto de Australia como Estados Unidos (Salazar, 2024). Despenalizar significa que ya no se persigue ni castiga a quienes realizan este procedimiento, pero al no haber ley en sí que regule esta práctica, se crea un vacío jurídico. Legislaciones que realmente controlan la muerte asistida sólo están vigentes en siete de estos diez países y varían de un territorio a otro. Por ejemplo, hay casos de menores de edad recibiendo eutanasia tanto en Bélgica como en Colombia (Salazar, 2024), cosa que sería impensable en otros países que han legalizado la eutanasia.

Actualmente, la "buena muerte" es un tema polémico en muchos rincones del mundo, dividiendo a la población general y sobre todo a la comunidad médica. Es considerada homicidio y pecado en múltiples países, mientras que otros argumentan que el derecho a morir cuando uno quiera se trata de uno fundamental. Aun así, para poder abordar este tema la gente debe informarse primero, cosa que raramente se hace. Este desconocimiento general es respaldado por estudios, como aquel realizado en las Islas Baleares, donde un 61,8% de trabajadores sanitarios afirmaron no saber mucho sobre el tema de la eutanasia y un total de 69.5% reconoció no haber recibido nunca ningún tipo de formación sobre el tema (Lerma-García et al., 2024).

4.2 ¿Qué tipos de eutanasia hay?

4.2.1 Eutanasia pasiva

La eutanasia pasiva consiste en la suspensión de todos aquellos tratamientos cuyo objetivo es prolongar la vida del paciente. El equipo médico no suministra ningún medicamento letal, simplemente frena todo aquello que ayuda al sujeto a mantenerse vivo. Los respiradores se desconectan, no se realizan más intervenciones y el enfermo deja de tomar medicamentos (Redacción BBC, 2019). Los profesionales le acompañan hasta el final de su vida, asegurándose de que no le falte nada para morir cómodamente y a su propio ritmo. Desde un punto de vista legislativo, más países (incluso algunos orientales como Turquía*) toleran la eutanasia pasiva ya que lo ven como un proceso más natural (Armanian, 2019). Sin embargo, en algunos casos, la eutanasia pasiva y el hecho de tener que esperar hasta que el enfermo se muera naturalmente, puede resultar más doloroso que acabar con su vida con la asistencia de profesionales en un momento concreto.

En cuanto a un caso real donde se aplicó la eutanasia pasiva, un artículo de la RTVE cuenta como en Suecia (un país que todavía no permite la eutanasia activa), la dirección del hospital de Estocolmo autorizó la desconexión de los respiradores que mantenían viva a una mujer de 32 años que sufría de una enfermedad neurológica degenerativa acompañada de una paralisis total. Llevaba seis años viviendo conectada a un respirador y sabía que su condición no iba a mejorar, por lo que rogó a la Dirección Nacional de Salud y Bienestar que le permitiera poner fin a su vida. Se trató del primer caso de eutanasia pasiva en todo el país y a partir del 2010 la ley sueca permite la realización de este tipo de eutanasia, percibiéndola como solución más ética (RTVE.es, 2010).

* Según la analista política Nazanin Armanian se acepta la suspensión de tratamientos en estados semi seculares como Turquía y Egipto, no por compasión hacia el enfermo, sino para liberar camas en hospitales y ahorrar los gastos que suponen mantener a un paciente terminal vivo.

4.2.2 Eutanasia activa

En la otra cara de la moneda se encuentra la eutanasia activa, donde ya entran en juego distintos tipos de medicamentos que sirven para liberar a los pacientes de su sufrimiento. Se realiza por vía intravenosa, a no ser que el paciente haya previamente objetado a recibirla de esta forma en su testamento vital, por lo que ya estaríamos hablando de suicido asistido (Redacción BBC, 2019). El médico debe seguir unos pasos concretos para asegurar que el paciente muera de la forma más cómoda posible.

Primero, se debe disminuir el nivel de consciencia mediante 5 a 20 mg de midazolam. El midazolam se suele usar en niños para aliviar síntomas de ansiedad e inducir sueño antes de alguna operación. El número de gramos administrados depende de la situación y de si el paciente toma benzodiazepina. Después se administra lidocaína lentamente para bloquear las señales entre terminaciones nerviosas de la piel y evitar el dolor que supone inyectar

inductores de coma que, en muchos casos, irritan los tejidos al entrar en contacto con ellos. Una vez que la anestesia local haya hecho su efecto, el médico inyecta 100 mg de propofol de una forma tan lenta que la introducción del medicamento puede tardar hasta cinco minutos. El propofol induce un coma tan profundo en el paciente que ya es imposible que a su cuerpo le importe seguir respirando. Finalmente, el proceso termina con la administración de un bloqueador neuromuscular, haya parado de respirar el paciente o no, para evitar espasmos involuntarios y asegurar la relajación muscular completa (*Eutanasia: Estos Son los Medicamentos y Su Uso Recomendado Por Sanidad,* 2021). Este proceso es idéntico en España y Canadá. Se puede realizar en una variedad de sitios, desde centros médicos públicos hasta los domicilios privados del paciente, pasando por residencias de ancianos.

Una aplicación real de la eutanasia activa tuvo lugar en Canadá, donde, desafortunadamente, una mujer de 57 años padecía cáncer de mama. Su enfermedad ya se había extendido por todo su cuerpo, causando un sufrimiento incesante. Ella decidió recurrir a la muerte asistida y adelantar aquello que no iba a tardar en llegarle, recibiendo la inyección en su casa. Sin embargo, tuvo que adelantar su decisión ya que la ley canadiense especifica que el sujeto debe estar completamente consciente para dar la vista buena final. Como la mayoría de sus facultades ya estaban afectadas, ella no sabía si el cáncer iba a llegar a su cerebro en las fechas en las que planeaba morir. Se vio obligada a adelantar la fecha, falleciendo más pronto de lo deseado (Ferreyra et al., 2018).

Es importante notar que la inyección letal no se trata del mismo procedimiento presente en la eutanasia activa. A diferencia de este castigo penal, la eutanasia usa midazolam en pequeñas cantidades para calmar al paciente y el fenobarbital (un barbitúrico también usado para tratar la epilepsia) es excluido del proceso. Gracias a estos pequeños pero significativos cambios, la eutanasia es descrita como un proceso tranquilo y poco intrusivo, mientras que la inyección letal, reservada para los criminales más notorios de determinados países, produce una sensación de ahogamiento en el sujeto.



Fármacos para la administración intravenosa: el sobre azul contiene midazolam, el amarillo lidocaína, el rojo propofol y el verde cisatracurio (un bloqueador muscular). La flecha apunta hacia un rescate de propofol, que se debe administrar en el caso de que la primera dosis no funcione, AMF.

4.3 Suicidio asisitido

Antes de poder seguir con el marco teórico, hay que definir el concepto de "suicido asistido". Muchas personas confunden este término con la eutanasia activa, cuando en realidad tienen sus diferencias. Aunque ambos procesos tienen el mismo objetivo y necesitan el consentimiento total del paciente, el suicidio asistido se diferencia a la hora de quien suministra el medicamento. En la eutanasia activa siempre hay dos sujetos: el activo (el médico) y el pasivo (el paciente), ya que el médico es el que realiza la acción de administrar el inductor de coma. No obstante, en el suicidio asistido el sujeto activo se trata del mismo paciente ya que este se administra a sí mismo los recursos necesarios para inducir su propia muerte, siempre y cuando sean recetados por un profesional médico (García, 2022). En estos casos, la ingesta del medicamento se realiza por vía oral.

En España, el paciente debe realizar un ayuno de seis horas, acompañado por una comida ligera una hora antes de tomar 15 g en 100 ml de pentobarbital, un barbitúrico sedante que disminuye la actividad motora. El sujeto debe beber los 100 ml enteros en cuatro minutos para garantizar la eficacia de este. En algunos instantes, antieméticos y ansiolíticos se pueden tomar unas horas antes para evitar que el cuerpo del sujeto rechace el pentobarbital. Debido al sabor amargo que deja el medicamento, es posible tomar un poco de chocolate tras la ingesta para neutralizarlo (García et al., Enero 2022). En Canadá, el procedimiento es muy similar. El sujeto debe tomar un antiemético en ayunas para evitar dificultades tras la toma del barbitúrico. En este país,

se reemplaza el pentobarbital por 15 g de secobarbital, de la misma familia pero con una mayor concentración tóxica en la sangre. Hay varios medicamentos de segunda línea, es decir, alternativas por si el secobarbital falla. Entre estas se encuentra el DDMP2; una mezcla de digitalis, diazepam, morfina y propranolol, preparada por el médico en el instante (Lonny Shavelson, M.D., 2019). El fenobarbital, que actúa más lentamente comparado con los dos barbitúricos previamente mencionados, el hidrato de cloral y la morfina sola también se pueden usar. Si ninguna de estas mediaciones se manifiestan en el paciente, el equipo médico debe estar preparado para administrar el inductor de forma intravenosa (Harty C et al., 2018) . A pesar de esto, la ingesta por vía oral suele ser muy eficaz, dándole al paciente mayor autonomía y un tiempo mínimo entre el sueño y la muerte.

Básicamente, el suicidio asistido no entra dentro la categoría de la eutanasia, pero sí dentro de la de muerte médicamente asistida. El hecho de que sea el enfermo el que se da a sí mismo el medicamento reconforta a muchos profesionales, ya que significa menos participación activa de su parte. Los marcos legales tanto de España como Canadá regulan ambos procedimientos, dándole a los pacientes que solicitan este tipo de ayuda la opción de elegir entre vía intravenosa, es decir, recibir la eutanasia activa, o vía oral, correspondiente al suicidio asistido.



Solución de pentobarbital (15g en 100 ml), AMF.

4.4 Fundamentos éticos de la eutanasia

Dado que ya hemos cubierto las vías posibles por las que se puede administrar la eutanasia y los medicamentos utilizados, es decir todo aquello que compone la faceta física de este procedimiento, debemos de tratar la otra cara de la moneda y la que algunos perciben como la faceta más polémica de este: el aspecto moral de la muerte asistida.

4.4.1 Principios bioéticos

Para poder diseccionar este matiz, primero debemos tener claro que los médicos basan sus decisiones y desarrollan su responsabilidad moral basándose en la bioética. La bioética es, como su nombre indica, una rama de la ética que busca unir la moral humana con aquellos oficios del campo biosanitario, convirtiéndose en un marco referente importante para los profesionales sanitarios (*¿Qué Es la Bioética y Para Qué Sirve?,* 2023). El modelo bioético más usado dentro del mundo occidental es uno conocido como el modelo principialista, un nombre que viene de los principios que lo forman. Estos principios fueron expuestos por primera vez en 1978 en el Informe Belmont. Esta publicación introdujo los tres pilares de la bioética principialista: el derecho a la autonomía, la justicia y la beneficencia. Un tiempo después fue ampliado por Beauchamp y Childress que añadieron un cuarto principio: la no-maleficencia, aunque hoy en día todavía hay autores que incluyen este dentro de la beneficencia (García Pérez, 2006). Estos fundamentos fueron presentados con el fin de ser aplicados en cualquier investigación o intervención de ámbitos tanto biológicos como sanitarios. Sin embargo, la teoría no siempre se puede llevar a la práctica de manera deseada y para poder entender las dificultades que conlleva la bioética, es necesario conocer bien sus principios.

La autonomía del paciente defiende la capacidad que tiene este a la hora de tomar decisiones, respetando tanto sus creencias como sus valores. Esta importancia que se le da a la libertad personal es el motivo por el que hoy en día se han desarrollado leyes que buscan proteger la voluntad del sujeto ante todo. En España, la Ley 41/2002 introdujo formalmente el concepto del consentimiento informado (*BOE-A-2002-22188 Ley 41/2002, de 14 de Noviembre, Básica Reguladora de la Autonomía del Paciente y de Derechos y Obligaciones En Materia de Información y Documentación Clínica.,* s. f.). El consentimiento informado significa que los pacientes tienen el derecho de entender las opciones disponibles de tratamiento y de los riesgos y beneficios de cada opción, para que después sea libre de decidir por su propia cuenta qué camino quiere tomar (*¿Qué Es el Consentimiento Informado?,* s. f.). En Canadá, la autonomía del paciente y el consentimiento informado también se reconocen en su legislatura. Por ejemplo, en

el "Health Care (Consent) and Care Facility (Admission) Act", desarrollado en 1996, se defendió la voluntad del paciente. Si el sujeto no quiere recibir un tratamiento, no puede ser forzado a aceptarlo y no importa si esta negación tiene como consecuencia su muerte (*Health Care (Consent) And Care Facility (Admission) Act,* s. f.). Aunque en el año en el que se publicó esta ley todavía no se había legalizado la eutanasia, la decisión del paciente de suspender o no los tratamientos que pueden salvarle considerando su estado crítico se trata de eutanasia pasiva. Esto demuestra que la autonomía es un principio clave que parece ir en muchos casos por encima de todo, incluso despenalizando un tipo de eutanasia en Canadá. Al tratarse de un tema tan irreversible como este, es muy importante que el paciente sea totalmente capaz de tomar la decisión de poner fin a su vida por su propia cuenta, libre de cualquier presión externa, pero también es necesario tener en cuenta otros principios.

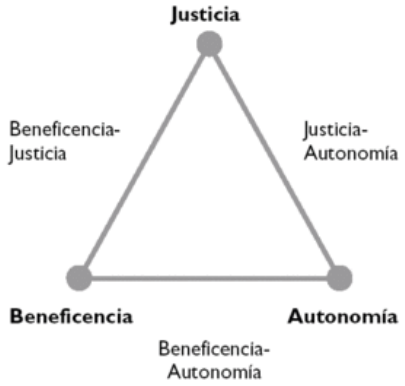
La justicia bioética se encarga de que todos los seres humanos tengamos el mismo acceso al cuidado sanitario, ya que todos somos dignos de ello. El derecho a la atención médica de calidad es un derecho universal. Si dos personas se encuentran en una misma situación, deben de recibir el mismo trato, pero si las situaciones son distintas, se deben establecer unos criterios para adaptarse a estas diferencias. Como se determina la importancia de cada criterio es la raíz del problema de la justicia bioética (García Pérez, 2006). Cada sistema prioriza distintos factores. Por ejemplo, en la infraestructura europea y el hecho de que los países sean de menor extensión ayuda a dar más importancia a quien tiene más necesidad, aportando los servicios necesarios para cubrir estas necesidades, comparado con países de mayor extensión y población, ya que es más difícil hacer que estos servicios sean asequibles. Si los marcos legislativos de Canadá y España reconocen la prestación de ayuda médica para morir, cualquier persona que cumpla los requisitos podrá acceder a esta. Desafortunadamente, las diferencias geográficas de distintas regiones de ambos países afectan la justicia bioética. Hay comunidades más desarrolladas que otras, haciendo que los recursos necesarios sean más difíciles de obtener en lugares con peores infraestructuras, con población en situación más vulnerable o exclusión social, como el caso de la población indígena en Canadá o asentamientos de inmigrantes en España (como la Cañada Real de Madrid, por ejemplo). La justicia también se lleva a cabo informando a cada individuo de todas las opciones que se pueden realizar teniendo en cuenta su situación, formando también parte del consentimiento informado. De esta manera, nadie se ve presionado a elegir un único tratamiento al no saber que hay otros disponibles.

Finalmente, la beneficencia y no-maleficencia suelen ser los principales argumentos en el debate de la eutanasia. A pesar de ser términos que algunos autores juntan, sus ideas se oponen en la práctica. Por una parte, la beneficencia busca aliviar el sufrimiento del paciente, llevando a cabo la mejor opción para este. Por el otro lado, la no-maleficencia coloca una extremada importancia a no causar ningún daño al paciente (García Pérez, 2006). Cuando se trata de la eutanasia, muchos argumentan que poner fin a la vida de alguien es dañino y va en contra del principio de la no-malevolencia, a pesar de ser lo más beneficioso para el paciente. No obstante, las personas que suelen solicitar la eutanasia se encuentran en un dolor constante y tan intenso que ven como única opción poner fin a su vida. Por lo tanto, negarles el tratamiento iría en contra de la beneficencia biosanitaria, que se basa en llevar a cabo el proceso más beneficioso para el paciente. Esto plantea la pregunta: ¿El dolor es parte del alivio? Para poder responder, podemos comparar la eutanasia a un caso menos extremo: el de una dislocación de rodilla. Si sufrimos un accidente que saca nuestra rodilla de su lugar correspondiente, podemos elegir una de dos opciones: la dejamos tal y como está, generando grandes daños a nuestro propio organismo, o sufrimos un dolor extremo pero puntual que la recolocará y finalizará con nuestro dolor. Las personas que solicitan la muerte se encuentran en condiciones que, a diferencia de nuestra rodilla dislocada, no son reversibles.

Diversos autores señalan que la bioética principialista enfrenta dificultades al trasladarse a la práctica. Esto tiene como consecuencia tres conflictos primarios. El primero se trata de la generalidad de estos principios, cosa que dificulta la aplicación de estos en situaciones reales al aportar los límites en vez de demostrar cómo se debería actuar. El segundo es más filosófico. Los principios provienen de distintas corrientes de pensamiento. Esto significa que no comparten una misma base, debilitando la teoría del principialismo. La tercera y última crítica es la que más influye

en el tema que estoy tratando, la jerarquía de los principios. Al establecer los pilares bioéticos, no se definió un orden claro de importancia, y como consecuencia de esta uniformidad, en la práctica suceden choques de principios como los mencionados anteriormente de la beneficencia y no-maleficencia (García Pérez, 2006).

Para poder establecer una especie de clasificación, el médico español Diego Gracia en su estudio *Fundamentos de Bioética* (1989) dividió los cuatro principios en dos clases: la primera conteniendo a los de mayor importancia y la segunda aquellos con menor prioridad. Según Gracia, los principios que debían ir sobre todo eran los de no-malevolencia y justicia ya que los otros dos eran más personales y menos universales. Sin embargo, en la legislatura española se reconocen leyes que subrayan la importancia de la segunda clase, como la ley de la autonomía del paciente, que pone la autonomía del paciente ante todo en casos clínicos. La rigidez de esta propuesta compuesta por máximos y mínimos es contrastada por el triángulo bioético, uno propuesto por Miguel Angél García Pérez en *Atención Primaria* (Elsevier, 2003). En el artículo del mismo, este explica cómo relacionando los tres principios (él incluye la no-malevolencia dentro de la beneficencia en esta figura), el dinamismo resultante es uno más aplicable a situaciones reales. Por un lado, la relación de la beneficencia con la autonomía implica un equilibrio entre las decisiones del paciente y las opciones beneficiosas presentadas por el profesional sanitario. El lado de autonomía-justicia demuestra que la autonomía de una persona no puede traspasar las leyes establecidas en ciertos marcos. Aunque una persona pida la eutanasia, es posible que no la reciba si no cumple los requisitos de su país. Finalmente, la relación entre la beneficencia y la justicia sirve para dejar claro que los profesionales siempre deberán hacer lo mejor para el paciente, siempre y cuando encajen dentro del marco legal. El triángulo bioético es una herramienta que ayuda a poner en perspectiva los roles de estos principios, asegurándose de buscar un equilibrio en escenarios reales. Desafortunadamente, las legislaciones de distintos países no siempre equilibran los tres lados correctamente, y siempre hay presente una jerarquía intrínseca dentro de estas, donde los principios que se ven como más importantes son aquellos que influyen más en cómo se va a llevar a la práctica la ley.



Adaptado de Miguel Ángel García Pérez (Atención Primaria, Elsevier, 2003)

4.5 Legislación vigente en cada país

Una vez que ya sepamos diferenciar todos aquellos conceptos que entran dentro de la muerte médicamente asistida, es hora de comparar los marcos legislativos de dos países que se encuentran separados por unos 6000 km y el océano Atlántico. Ambos han legalizado la prestación de ayuda médica para morir, pero ¿el hecho de que estén en dos continentes culturalmente muy distintos impactará las decisiones tomadas en cuanto a la regulación de este servicio?

4.5.1 Legislación española

En España, el Congreso de los Diputados aprobó la Ley Orgánica de Regulación de la Eutanasia (también conocida como la LORE) el 18 de marzo de 2021 por mayoría absoluta (Derecho a Morir Dignamente, 2025). Esta ley permite solicitar la ayuda necesaria para morir a todos aquellos mayores de edad capaces y conscientes que padezcan una enfermedad incurable o un sufrimiento crónico, ya sea físico o psíquico, que limite significativamente su día a día. Este procedimiento se financia con fondos públicos, haciéndolo fácilmente accesible para cualquier ciudadano o residente del país (*Prestación de Ayuda Para Morir (Eutanasia),* 2025).

El proceso comienza con el interesado comunicando su deseo a su médico de cabecera. Este informará al paciente de todas las alternativas que existen y el resultado de estas, también ofreciendo la opción de recibir cuidados paliativos. Si el solicitante decide recibir la ayuda necesaria para morir, se firmará un documento supervisado por un profesional de salud. Por lo menos quince días después de la firma del primer documento, se debe firmar otro de consentimiento y el médico de cabecera debe informar al equipo de asistencia sobre la decisión del individuo. Si el solicitante es incapaz de

firmar por culpa de su condición, debe consentir a que otra persona mayor de edad firme por él bajo la supervisión de un miembro del personal sanitario. Una vez rellenados ambos documentos, dejando muy claro que la petición no ha sido consecuencia de ninguna presión externa, un médico consultor examinará la diagnosis del paciente y su historial médico para redactar un informe que finalmente será presentado ante un jurista y un médico de la Comisión de Garantía y Evaluación que decidirán si el paciente cumple las condiciones para recibir la eutanasia. La ley permite al paciente revocar su decisión en cualquier momento, incluso dándole al enfermo la opción de retractarse en los instantes antes de que se realice el procedimiento (Dmd, 2024). El artículo 16 de la LORE especifica que los médicos tienen el derecho de rechazar la prestación de esta ayuda de manera anticipada en un documento escrito (*Prestación de Ayuda Para Morir (Eutanasia),* 2025). Aquellos profesionales que se niegan a realizar el procedimiento, también conocidos como objetores, no son penalizados. En 2023, 9384 sanitarios, un 1.3% de todos los profesionales de salud en España, se negaron a practicar la eutanasia (Mateo et al., 2023). La gran mayoría de estos objetores reside en Madrid o Aragón y explican que ayudar a morir es una práctica hipócrita, en contra no solo de su profesión sino también del mismo Juramento Hipocrático.

En el caso de enfermedades mentales, la LORE permite a aquellos con un padecimiento grave causado por un trastorno psicológico solicitar la prestación de ayuda asistida para morir. No obstante, esto desencadena una larga y exhaustiva evaluación psicopatológica. El psiquiatra Manuel Bousoño asegura que "en muy pocas ocasiones podría decirse que una enfermedad mental es intratable" (Navas, 2021). Esta declaración es respaldada por el hecho de que los síntomas que acompañan a padecimientos como la depresión y la ansiedad se pueden aliviar con distintos tipos de tratamiento a lo largo del tiempo.

Dado que la mayoría de las enfermedades que llevan a alguien a solicitar este servicio son degenerativas, existe el documento notarial conocido como el testamento vital que permite al paciente dejar constancia clara de qué tratamientos quiere recibir y cuáles no, cuando su condición sea irreversible y el deterioro de su salud le haga imposible realizar decisiones (*El testamento vital, ¿qué es y para qué se utiliza?,* 2022). La Fundación Pasqual Maragall menciona que la realización de este documento es muy poco común en la población española a pesar de que libera a la familia del paciente de realizar decisiones difíciles sobre los tratamientos que debe recibir una vez que se encuentre en condición crítica.

4.5.2 Legislación canadiense

Al otro lado del océano, en Canadá, la ley reguladora de la eutanasia fue aprobada en Junio del 2016, cinco años antes que en España. Esta ley introduce el servicio conocido como MAiD o *"Medical Assistance in Dying"* y como he mencionado anteriormente, incluye las dos mismas opciones que en España: el paciente puede tomar el medicamento recetado por su médico o recibirlo mediante una inyección en el caso de que el paciente sea incapaz de darse a sí mismo la medicación (*Medical Assistance In Dying: Overview,* 2025). Los requisitos para acceder a esta prestación son idénticos a los españoles. A pesar de estar a miles de kilómetros, la regulación de este proceso varía increíblemente poco. Los aplicantes deben ser mayores de edad, capaces de decidir por sí mismos y ser ciudadanos permanentes o residentes con visado. Si el paciente sufre una patología psíquica, MAiD no estará disponible hasta el 17 de marzo de 2027. Inicialmente, iba a estar disponible en 2023, pero se aplazó con el Bill C-39 hasta el año siguiente, donde se volvió a posponer hasta 2027 (Government of Canada, Department of Justice, Electronic Communications, 2024). El proceso de aplicación también comienza con una petición al médico de cabecera y consta de dos documentos distintos, firmados por dos profesionales médicos que no tengan relación y que no obtengan ningún beneficio del fallecimiento. Si el solicitante no tiene ningún médico de referencia, debe ponerse en contacto con su provincia, que tiene un servicio de coordinación diseñado para ayudar a aquellos que se encuentren en esa situación (*Medical Assistance In Dying: Overview,* 2025). Desafortunadamente, el estudio más frecuente que pude encontrar respecto a los objetores de conciencia es de 2015, cuando la Corte Suprema acordó que aquellos que se encuentran en una situación terminal tienen el derecho a pedir ayuda médica para morir, pero esta práctica no se regularía hasta el año siguiente. En estas fechas se realizó una encuesta que demostró que el 63% de los profesionales de salud se negarían a realizar el procedimiento, seguidos por un 29%

que sí lo harían y un 4% indeciso. Del pequeño porcentaje que aceptaría, la mayoría sólo estaría dispuesta si se tratase de una enfermedad terminal (Vogel, 2015). A pesar de los resultados de este estudio, se puede asumir que con el paso de los años y la normalización del MAiD, las cifras han variado y la mayoría de los médicos se sienten cómodos con el proceso. Es importante recalcar que esto es una especulación sin ningún estudio legítimo detrás, pero el incremento en el número de personas que solicitan y reciben esta ayuda es una posible muestra en la disminución de médicos objetores en Canadá. Las razones para aquellos que siguen rechazando las peticiones son varias. Pueden ser internas como motivos religiosos, o externas como el rechazo por parte de ciertos grupos o personas, incluso aquellas que forman parte de la familia del paciente, que pueden no estar de acuerdo con la decisión de este.

En cuanto al testamento vital en Canadá, este documento se conoce como el "living will", y al igual que en España su uso no está muy extendido. La mitad de la población canadiense ha elaborado un testamento normal, pero solamente un 20% tiene uno de voluntades anticipadas. La empresa canadiense IG Wealth Management explica cómo este documento es una gran ayuda en casos de demencia, ictus o hasta depresión severa. En este país es muy importante redactar en el documento a quién quiere el paciente que haga las decisiones por él, es decir, debe nombrar a un representante. Este debe tener muy claro qué tipo de tratamientos prefiere el sujeto, si prefiere que su vida se prolongue en un estado vegativo o cesar de recibir ayuda médica, etc («What Is A Living Will? And How To Make One», 2025).

4.6 Estadísticas relacionadas con la eutanasia en ambos países

Canadá y España tienen leyes muy similares en torno a la eutanasia y el suicidio asistido. Sin embargo, las leyes, tal y como se encuentran redactadas en papel, no son nada más que teoría; por ello, debemos examinar el impacto de estas en ambas sociedades, comparando cómo ambos países han llevado estas legislaciones de la teoría a la práctica.

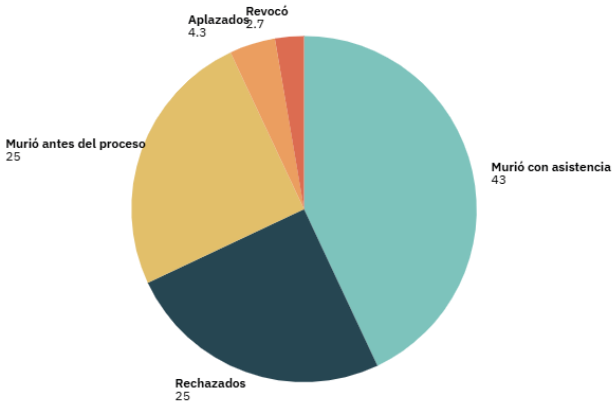
4.6.1 En España

En 2024, un reportaje de El País demostró que tanto la cifra de personas que piden ayuda médica para morir como la de aquellos que realmente la reciben han ido incrementando con el paso de los años. Ese año, 334 personas pudieron morir gracias a la LORE, un 15% más que en 2023. En 2023, 766 personas firmaron los documentos necesarios para recibir la eutanasia, un 25% más que el año anterior, señalando una mayor integración de la LORE en la sociedad española. Según el reportaje, un 43% de las personas que aplicaron realmente acabaron muriendo con asistencia médica; 25% murió antes del procedimiento, 25% de las personas fueron rechazadas, 4,3% sufrió un aplazamiento y 2,7% revocó su decisión. El perfil más frecuente de personas que recurren a este servicio es de personas entre 70 y 79 años, en su mayoría hombres (50,7%) que sufren de enfermedades oncológicas (cáncer) o neurológicas, demostrando que la mayor parte de personas que piden la eutanasia sufren enfermedades terminales en vez de dolores crónicos provocados por condiciones no necesariamente terminales (Linde et al., 2024). Si comparamos la media de edad de aquellos que recurren a la muerte médicamente asistida con la esperanza de vida media en España, que en 2025 se trata de 84 años (Instituto Europeo de la Salud y El Bienestar, 2025), llegamos a la conclusión de que los solicitantes de este proceso no tienen una gran diferencia de edad con aquellos que no adelantan su muerte. De todas las comunidades autónomas, el País Vasco es donde más se han realizado estos procedimientos, con 2 personas por cada 100,000 solicitando ayuda médica a la hora de fallecer. En 2023, sólo un 0.07% de las muertes fueron causadas por la eutanasia (Linde et al., 2024).

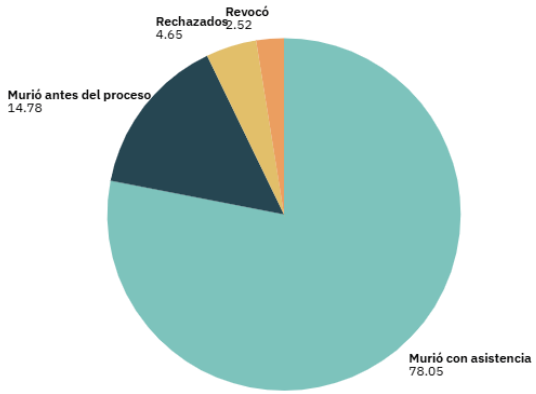
4.6.2 En Canadá

Según la BBC, la eutanasia y el suicidio activo fueron responsables del 4,7% de las defunciones en 2023, comparado con un 0,07% en España en el mismo año. Esta cifra no es la única que demuestra la normalización de este proceso en Canadá. MAID es el programa de muerte asistida con el mayor crecimiento y actualmente es la quinta causa de muerte principal del país. La cifra de personas que han muerto con ayuda de este servicio ha crecido por trece desde la legalización de este (Cardus, 2025). En 2023, 19660 personas entregaron sus solicitudes. Tan solo un 21,95% se quedó fuera del proceso por motivos varios, ya fuese un rechazo (4,65%), el retiro de la solicitud (2,52%), o el fallecimiento antes de la realización (14,78%). En España solamente un 43% de personas acabaron muriendo por este motivo mientras que en Canadá un 78,05% pudo cumplir

su deseo (Yousif, 2024). El gran contraste entre el número de rechazos en España y el de Canadá plantea la pregunta de si realmente están más enfermos o simplemente están más abiertos a la idea de la "muerte digna".



Solicitudes efectuadas en España (Elaboración propia).



Solicitudes efectuadas en Canadá (Elaboración propia).

Aquellos que solicitan ayuda médica para morir en Canadá son, en su mayoría, hombres que rondan los 77 años. En un 96% de los casos los solicitantes padecen una enfermedad terminal. Estas enfermedades terminales suelen ser en su mayoría oncológicas, respiratorias o neurológicas. La provincia donde han tenido lugar la mayoría de muertes asistidas ha sido Quebec (Yousif, 2024).

Al examinar estos números, se nota que, a pesar de que España y Canadá tienen leyes similares en cuanto a la eutanasia, su implementación muestra discrepancias significativas en la manera en que se priorizan los principios bioéticos. El escaso porcentaje de solicitudes completadas y la rigurosa supervisión de la LORE en España evidencian que el enfoque está puesto en la justicia, garantizando un proceso equitativo, seguro y regulado para todos los ciudadanos, incluso si esto implica que algunos solicitantes no tengan acceso al servicio. En contraste, en Canadá se observa una mayor proporción de individuos que consiguen llevar a cabo el MAiD (las solicitudes de esta se pueden evaluar y atender en el mismo día (Cardus, 2025), comparado con una media de 75 días de espera en España para poder morir con ayuda médica (Güell et al., 2025) y una flexibilidad en la aceptación de solicitudes, lo cual denota un enfoque más centrado en la autonomía. En este caso, se le otorga prioridad al derecho del paciente a decidir sobre su propia muerte de forma voluntaria e informada. Estas discrepancias indican que, más allá de la semejanza formal de las leyes, la percepción social de la eutanasia está determinada por los principios a los que cada sociedad da más importancia.

4.7 La individualidad en las sociedad canadiense y española

Según el Diccionario de la Lengua Española, el individualismo se define como una "tendencia filosófica que defiende la autonomía y supremacía de los derechos del individuo frente a los de la sociedad y el Estado" (RAE). Cada sociedad presenta un grado menor o mayor de individualismo y la manera más objetiva de medirlo es mediante la Dimensión de Individualismo de Hofstede. El modelo de Hofstede fue desarrollado por un psicólogo holandés del mismo nombre con el objetivo de analizar cinco dimensiones principales que definen las características culturales y sociales de un país. La dimensión del individualismo mide el grado en el que cada sociedad prioriza los intereses particulares sobre los del colectivo. Las sociedades individualistas dan mayor importancia a la independencia, el crecimiento personal, y, lo más importante para este proyecto, la autonomía (*Dimensiones Culturales de Hofstede* –, s. f.). Es lógico que una sociedad que tienda al individualismo defienda el derecho del paciente de llevar a cabo sus deseos sobre todo lo demás. Por lo tanto, si un paciente transmite el mensaje de querer poner fin a su vida, una sociedad individualista aceptará mejor esta decisión que un país que pone en primer plano las necesidades y los deseos del colectivo. Según este índice, Canadá tiene una puntuación de 72 sobre 100, 5 puntos mayor que España. Esto significa que aunque España también se caracteriza como una cultura individualista, esta mantiene algunos rasgos colectivistas (*Country Comparison Tool,* s. f.).

Tanto la Constitución canadiense como la española contemplan los derechos y libertades de los individuos, pero están estructurados de manera diferente. La Constitución canadiense tiene un amplio apartado llamado Charter of Rights and Freedoms que da especial importancia a la autonomía del individuo frente al estado (Heritage, 2024). Este rasgo es común en los países anglosajones, que presentan altos índices de individualismo. El individuo es el centro, la libertad individual tiene más peso que el bien común, el estado no juega un papel tan protector como en España. En nuestro país la Constitución equilibra los derechos personales con los valores comunitarios, algo más característico de países europeos de nuestro entorno con estados sociales consolidados, como Francia o Portugal. La autonomía individual en los países anglosajones se ve como un valor organizado, mientras que en países como España se ve como una categoría de libertad más, tiene menos peso cultural. El individuo es parte de una sociedad con derechos y deberes donde el bien común prevalece. En Canadá, el individuo es el centro mismo de la sociedad.

5. METODOLOGÍA

Este trabajo se ha desarrollado siguiendo una serie de pasos. En primer lugar, se llevó a cabo un análisis bibliográfico, definiendo qué es exactamente la eutanasia y sus variaciones para informar y situar al lector sobre sus características generales. Después se investigaron los principios bioéticos y se explicaron en detalle, aportando ejemplos de cómo son plasmados en legislaturas específicas de ambos países. A continuación, se compararon las leyes de la eutanasia en Canadá y España. No sólo eso, sino que también se compiló información respecto al proceso de solicitud para poder distinguir las diferencias entre ambos países, llegando a la conclusión de que la legislatura varía muy poco de un país a otro. Sin embargo, se recurrió a periódicos como El País y la BBC para recopilar distintas estadísticas relacionadas con la eutanasia para ver si a las similitudes en el marco legal se transfieren también a la práctica. Finalmente, para concluir el marco teórico, se investigó el individualismo de las sociedades canadienses y españolas para intentar averiguar si los principios bioéticos más favorecidos concuerdan con los índices de individualismo de estas.

La elaboración del marco teórico asentó una base a partir de la cual se pudieron plantear las distintas hipótesis y objetivos que se querían demostrar con este proyecto.

La parte experimental se basó en la elaboración de dos encuestas (anexos 1 y 2), una dirigida a una población española y otra a la canadiense. Primero se elaboró la española, estructurada en cuatro secciones distintas. La primera parte se centró en los datos sociodemográficos para poder contextualizar mejor los resultados. Incluyó preguntas que buscaban recoger datos como la edad de los participantes, su género y su situación actual entre otros. La segunda, tenía como objetivo averiguar qué exactamente opina cada encuestado sobre el tema de la eutanasia. Esto se hizo de la manera más directa posible: preguntando si están a favor de la eutanasia o no. Como hay grados dentro de la aceptación de la muerte asistida, se ofreció la opción de indicar "sí, pero sólo en unos casos". A continuación se presentaron una serie de casos para observar dónde se traza la línea a la hora de aceptar este procedimiento. Como una de las hipótesis plantea que aquellos rodeados por gente que acepta la eutanasia tienden a aceptarla también, y viceversa, esta sección también preguntó a los encuestados si consideran que su círculo más cercano muestra una actitud positiva al tratarse de la eutanasia. La tercera parte evaluó el nivel de información de cada persona. Preguntó a los encuestados si estaban familiarizados con la ley correspondiente a su país, con el proceso de solicitud de la eutanasia y si conocían el documento del testamento vital. Además, destacaron los medios de comunicación por los que se han informado sobre el tema y si la información correspondiente a estos les ha hecho percibir la eutanasia de una manera más positiva o negativa. Esto se relaciona con la hipótesis que enuncia que los miembros de una sociedad que acepta más la práctica de la eutanasia tienden a estar mejor informados sobre el tema. El último fragmento se centró en los principios bioéticos, con el objetivo de saber cuál es al que le dan mayor importancia. Las últimas cuatro preguntas consistieron en escenarios hipotéticos. Cada escenario resaltaba un principio y los encuestados tenían que especificar si estaban de acuerdo o no con las acciones llevadas a cabo en estos.

Una vez elaborada la encuesta en español, se tradujo al inglés y se puso en circulación. Al obtener las respuestas, ambas fueron analizadas y se crearon gráficas a partir de los Excel pertenecientes a cada una.

Con toda la información recogida y analizada y con el objetivo de informar más a las personas sobre este derecho que son libres de ejercer, se elaboró el boceto de una pá-

gina web (Anexo 3). Esta contiene información sacada del proyecto y del marco teórico y es un primer paso hacia una mayor concienciación de la muerte médicamente asistida.

6. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS

6.1 Resultados obtenidos en la encuesta realizada a españoles

La muestra de 152 encuestados representa en su mayoría a los grupos de 40 a 60 años (53,3%) y los de 16 a 25 años (20,4%), por lo que se logró combinar la perspectiva de la mediana edad con aquella perteneciente a la juventud.

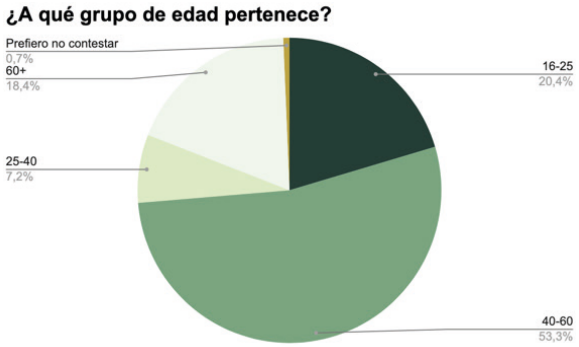


Gráfico 1: porcentaje de los distintos grupos de edad a los que pertenecen los encuestados. Elaboración propia.

En cuanto a la distribución por género, la encuesta se caracteriza por una predominancia femenina, con un 71,1% de los encuestados perteneciendo al género femenino y sólo un 28,9% de hombres.

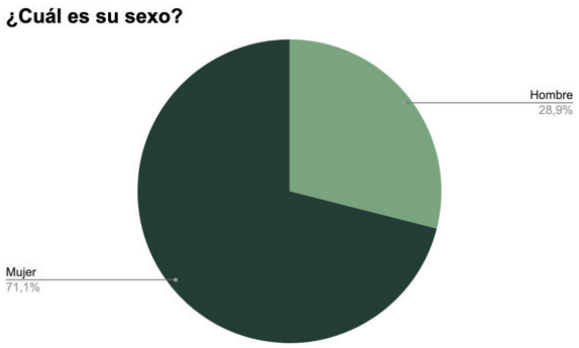


Gráfico 2: porcentaje de hombres y mujeres que han realizado la encuesta. Elaboración propia.

El nivel educativo de los participantes es mayoritariamente alto, con una clara prevalencia de titulados universitarios (58,6%), seguidos por aquellos con estudios de Bachillerato (26,3%).

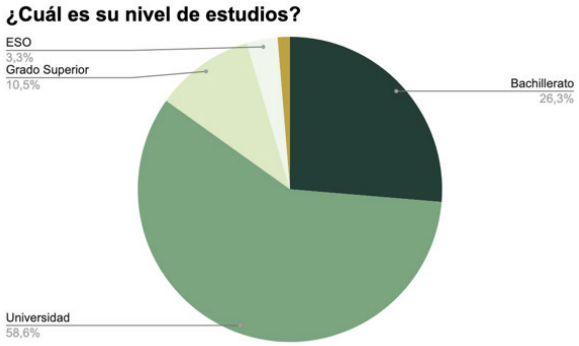


Gráfico 3: porcentaje del nivel de estudios de los participantes. Elaboración propia.

En lo que respecta a su situación actual, las categorías más frecuentes son "Trabajando" (64,5%) y "Estudiando" (21,1%), lo que se corresponde con los grupos de edad predominantes.

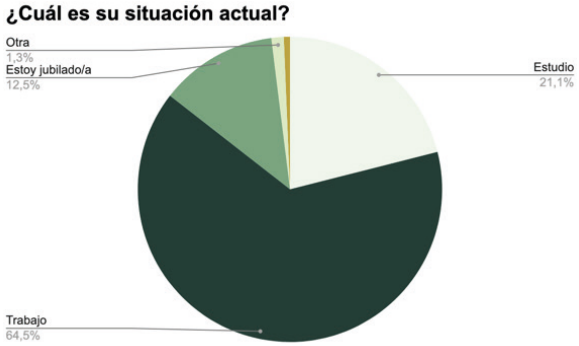


Gráfico 4: la situación actual de los encuestados. Elaboración propia.

La gran mayoría de la muestra está totalmente a favor de la eutanasia, pero una cifra significativa indica que su apoyo puede variar dependiendo del caso. Un 55,9% de los encuestados se declararon directamente a favor, mientras que un 33,6% especificaron que apoyan la eutanasia pero dependiendo de las condiciones. El rechazo explícito es escaso, representando sólo un 4,6% de los participantes y un 5,3% de los encuestados no se posicionaron claramente. Sumando las categorías de apoyo directo y condicional se obtiene que un 89,5% de la muestra defiende esta práctica.

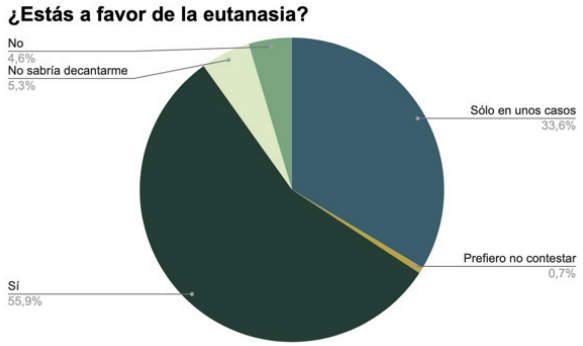


Gráfico 5: porcentaje de encuestados a favor de la eutanasia. Elaboración propia.

Para poder especificar aquellos casos en los que los participantes que defienden un apoyo condicional no aceptarían la eutanasia, se presentaron una serie de condiciones. Aquellas citadas con más frecuencia para no aceptar la eutanasia son: cuando existe posibilidad de recuperación (80,3%), en casos de depresión o enfermedades mentales (66,2%), y cuando el paciente no puede dar consentimiento libre e informado (54,9%).

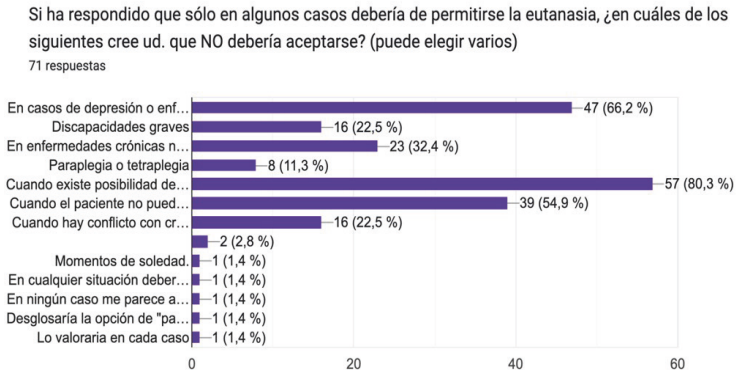


Gráfico 6: los distintos casos donde los encuestados no aceptarían la eutanasia. Google Forms.

En cuanto a las opiniones del entorno cercano, un 45,4% consideró que una gran mayoría de su círculo cercano está a favor de la eutanasia, 33,6% expresó que no lo sabía, 14,5% indicó que aproximadamente mitad está a favor y la otra mitad está en contra y un 6,6% afirmó que sólo una minoría apoya la práctica de la eutanasia.

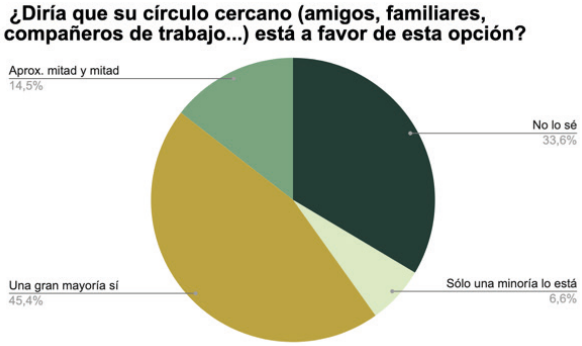


Gráfico 7: opiniones sobre la eutanasia percibidas por los encuestados en sus entornos cercanos. Elaboración propia.

A pesar de que una gran parte de la muestra considera que su círculo íntimo está a favor de la eutanasia, el tema permanece en gran medida como un tabú conversacional. La respuesta más común es que se habla del tema en pocas ocasiones (58,6%) o nunca (27,6%). Solo una minoría (13,8%) afirma que es un asunto recurrente.

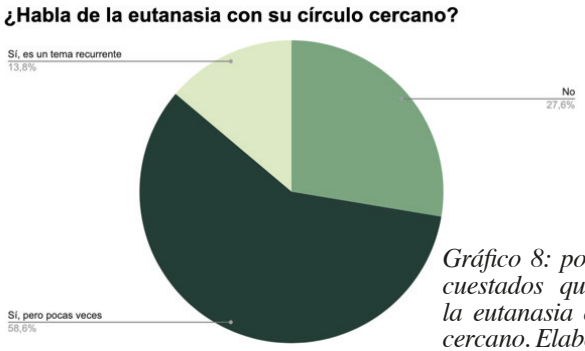


Gráfico 8: porcentaje de encuestados que habla sobre la eutanasia con su entorno cercano. Elaboración propia.

La gran parte de la muestra (71,7%) ha sido receptora de información sobre la eutanasia, y sólo un 27,6% niega haberse informado sobre el tema.

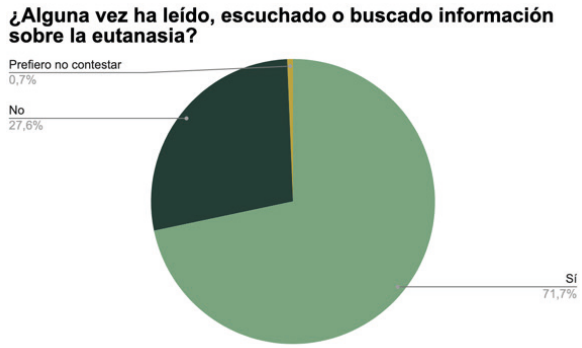


Gráfico 9: porcentaje de participantes que ha consumido algún tipo de información sobre la eutanasia. Elaboración propia.

Las principales fuentes a través de las cuales se han informado los encuestados son medios de comunicación tradicionales como periódicos (50,9%) y canales de noticias (39,3%), contenidos audiovisuales como documentales (37,5%) y redes sociales (28,6%).

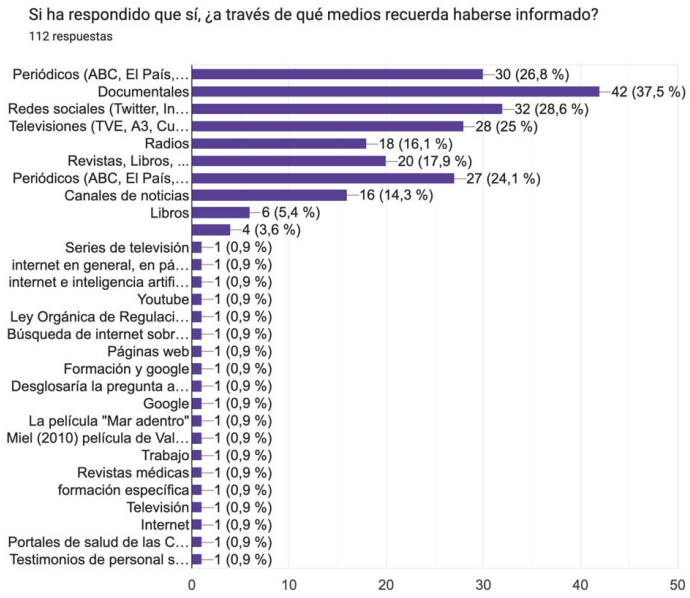


Gráfico 10: porcentaje de principales fuentes de información usadas para obtener un mayor conocimiento sobre la eutanasia. Google Forms.

En cuanto al impacto de esta información, la respuesta mayoritaria es que ha reforzado su opinión de manera "positiva" (44,5%) o que directamente no ha tenido impacto (49,6%).

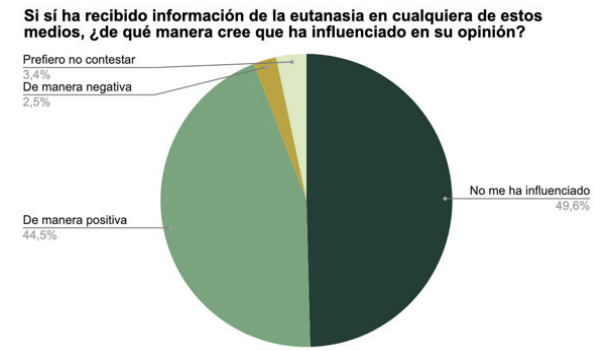


Gráfico 11: impacto que han tenido el consumo de información de la eutanasia. Elaboración propia.

Para poder evaluar el nivel de conocimiento de cada individuo sobre el tema se preguntó si eran conscientes de la existencia de la LORE. 63,8% de los participantes indicaron que conocían la ley pero no estaban familiarizados con aquello que implica. Un 24,3% afirmó conocer mejor la ley y sólo un 11,2% era inconsciente de que se había aprobado una ley regulando la eutansia en España.

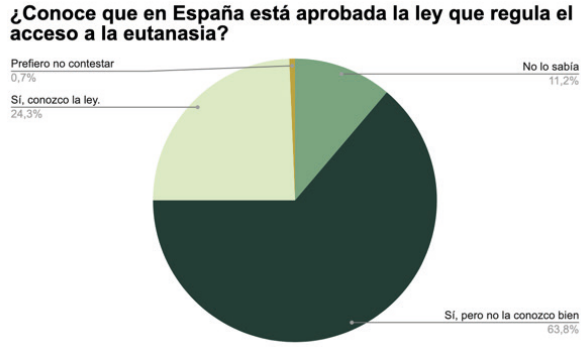


Gráfico 12: porcentaje de encuestados que están familiarizados con la LORE. Elaboración propia.

A pesar de que la gran mayoría de la muestra conoce la ley, se constata una brecha significativa entre la conciencia de la existencia de la ley y la comprensión de sus detalles prácticos. Tan sólo un 26,1% de aquellos que conocen la ley saben cómo se lleva a cabo el proceso de solicitud, con un 72,5% reafirmando que no está familiarizado con el proceso.

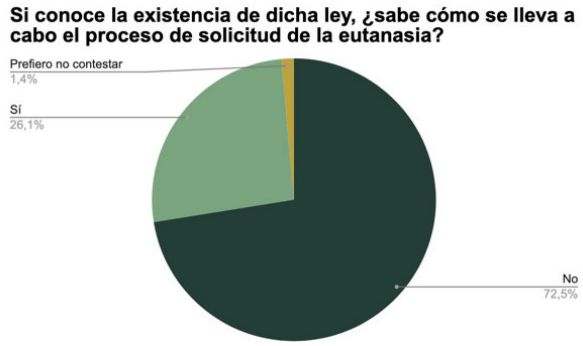


Gráfico 13: porcentaje de encuestados familiarizados con el proceso de solicitud de la eutanasia. Elaboración propia.

En contraste, el conocimiento sobre la figura del testamento vital es más sólido, con un 73% que afirma saber en qué consiste, aunque un considerable 26,3% todavía lo desconoce.

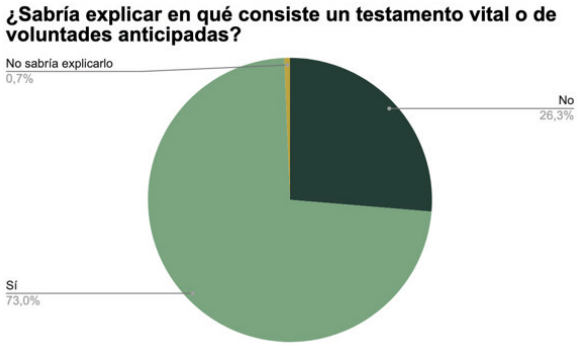


Gráfico 14: porcentaje de encuestados familiarizados con el testamento vital. Elaboración propia.

La percepción que se tiene sobre el nivel de conocimiento del entorno cercano coincide con la que se tiene a nivel individual. Un 43% de los participantes piensa que "la gran parte no tiene información precisa" sobre cómo funciona el proceso de solicitud o qué es exactamente el testamento vital. Un 23,8% no conoce el nivel de información que tiene su círculo íntimo, un 16,6% cree que la gran parte de su grupo sí está informado y un escaso 15,9% enuncia que aproximadamente mitad del grupo está informado.

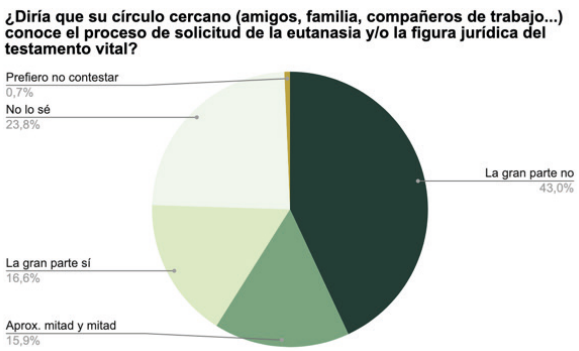


Gráfico 15: porcentaje de encuestados que piensan que su entorno cercano está familiarizado con los procesos anteriores. Elaboración propia.

Para saber si la población española desea ampliar sus conocimientos sobre la eutanasia se preguntó a los encuestados si estarían dispuestos a aprender más sobre esta, a lo que 88,2% contestó que sí. Solamente un 7,9% manifestó su deseo de no querer aprender más sobre el tema.

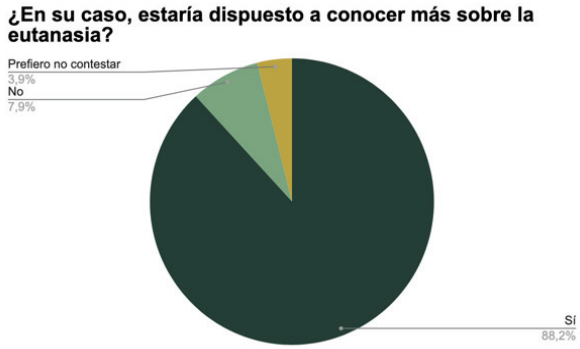


Gráfico 16: porcentaje de encuestados dispuestos a aprender más sobre la eutanasia. Elaboración propia.

Sólo 13 personas (8,6%) de las 152 que contestaron la encuesta admitieron haber conocido a alguien que haya decidido solicitar la eutanasia. Este pequeño porcentaje es lógico teniendo en cuenta que la eutanasia sólo forma parte de un 0,07% de las defunciones anuales en España.

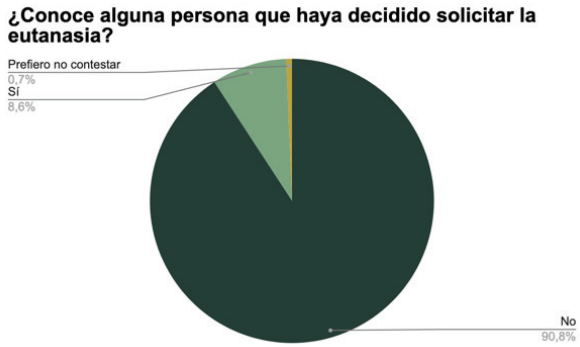


Gráfico 17: porcentaje de encuestados que ha conocido a alguien que ha solicitado la eutanasia. Elaboración propia.

De aquellos que han conocido personalmente a alguien que se ha decantado por la eutanasia, 47,6%, casi la mitad, afirma que la experiencia les ha hecho percibir el proceso de manera más positiva. 38,1% expresó que esto no les impactó de ninguna manera y un 4,8% sostuvo que esto impactó su percepción de manera negativa.

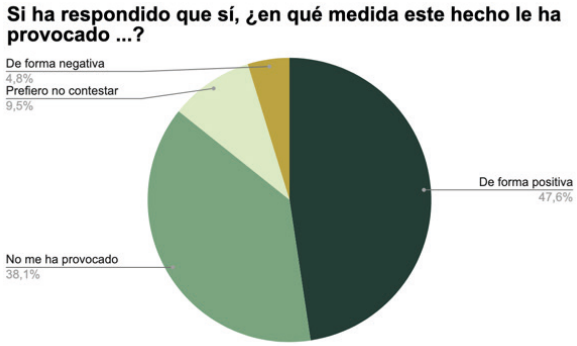


Gráfico 18: impacto generado en los encuestados que han conocido a alguien que ha solicitado la eutanasia. Elaboración propia.

Para poder conocer cuál es el principio bioético más valorado por la muestra, los encuestados fueron preguntados de manera explícita cuál de los cuatro es el que consideran como más importante. Como esperado, la autonomía se llevó un 52% de los votos, seguida por la beneficencia (33,6%). La justicia y la no malevolencia recibieron un apoyo considerablemente menor, ambos obteniendo un 5,9% de los votos.

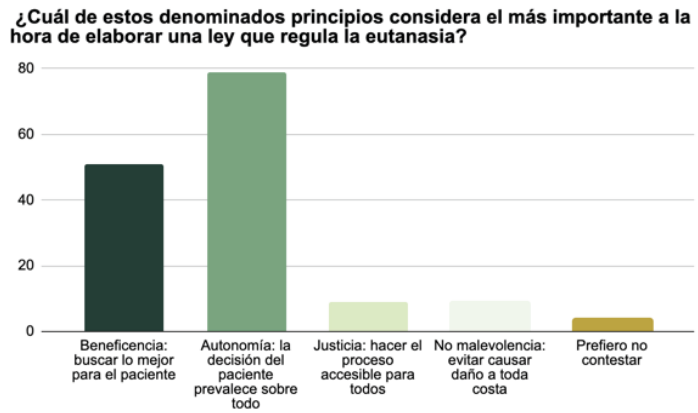


Gráfico 19: principios bioéticos considerados más importantes por los encuestados. Elaboración propia.

ESCENARIO FICTICIO (1) Un paciente que sufre de una enfermedad neurodegenerativa solicita la eutanasia antes de perder sus facultades por completo. Su familia no está de acuerdo con esta decisión ya que su condición no es terminal. Cuál es su posición respecto a que el paciente solicite la eutanasia.

Este caso fue diseñado para destacar el principio de la autonomía. Aquellos que están de acuerdo con que el paciente solicite la eutanasia independientemente de la opinión de su familia, también están dando una mayor importancia a la autonomía de este. Un 73,7% de los encuestados apoyó la decisión del paciente, con un 42,8% de este porcentaje mostrándose totalmente de acuerdo y el restante 30,9% de acuerdo. Un 22,4% se mostró ni de acuerdo ni en desacuerdo y un 5,3% se opuso a la decisión del paciente.

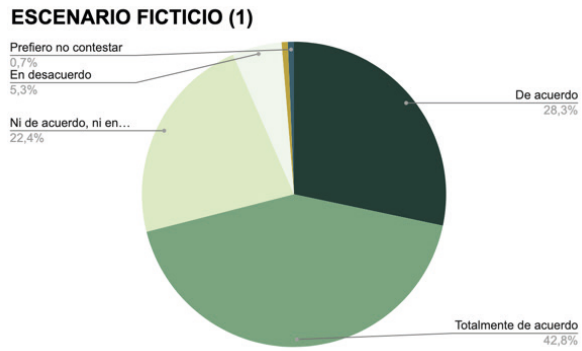


Gráfico 20: opiniones de los encuestados ante el primer escenario. Elaboración propia.

ESCENARIO FICTICIO (2) Un paciente en fase terminal sufre dolores que no se alivian con tratamientos. Su médico considera que, si el paciente está de acuerdo, se debería de llevar a cabo la eutanasia porque esta podría ser la opción más compasiva. ¿Cuál es su posición respecto a la opinión del médico?

El principio en el que se centra este escenario es la beneficencia, ya que en este caso el profesional médico considera que la mejor opción para el paciente es solicitar asistencia para morir. Ante este caso, un 69,1% de los encuestados apoyó la decisión del médico. Un 19,7% defendió no estar ni de acuerdo ni en desacuerdo y un 7,2% se mostró en desacuerdo.

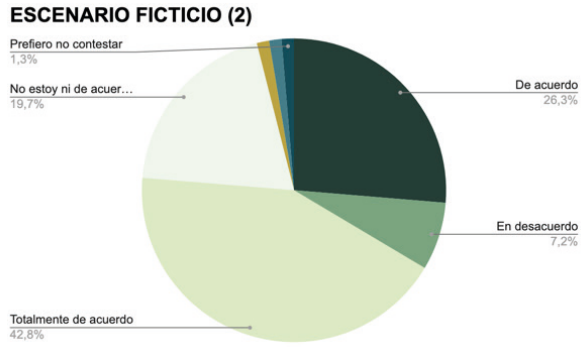


Gráfico 21: opiniones de los encuestados ante el segundo escenario. Elaboración propia.

ESCENARIO FICTICIO (3) Un paciente que sufre de cáncer terminal se encuentra en cuidados paliativos y no ha sido informado de que tiene la opción de solicitar la eutanasia. ¿Considera ud. que tendría que ser informado?

En una situación en la que un paciente con cáncer terminal no ha sido informado sobre la opción de solicitar la eutanasia la justicia es el principio que destaca. Un 86,2% consideró inequívocamente que este tendría que ser informado. Este dato muestra que la mayoría ve la información como un derecho básico que complementa el principio de la justicia ya que lo más justo es que el paciente conozca todas sus opciones para poder decidir por sí mismo.

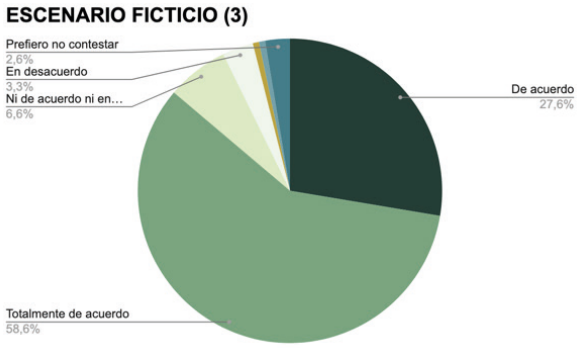


Gráfico 22: opiniones de los encuestados ante el tercer escenario. Elaboración propia.

ESCENARIO FICTICIO (4) Un paciente solicita la eutanasia, pero el procedimiento podría generar un sufrimiento físico o emocional adicional antes de su muerte. ¿Consideraría ud. la opción de la eutanasia aunque causara a la persona más dolor en el proceso?

Este escenario, donde se plantea que la eutanasia podría causar más sufrimiento en vez de aliviarlo, poniendo en práctica el ejercicio de la no maleficencia, es el que más divide a la muestra. Un 21,7% está "En desacuerdo" (17,1%) o "Totalmente en desacuerdo" (4,6%), mientras que un total de 35,6% lo apoya y un 33,6% se posiciona en el medio, marcando "ni de acuerdo ni en desacuerdo". Esto muestra un límite ético muy importante: la eutanasia se entiende como una forma de aliviar el dolor, no de aumentarlo. Si el procedimiento puede generar sufrimiento, entonces su aceptación se pone en duda.

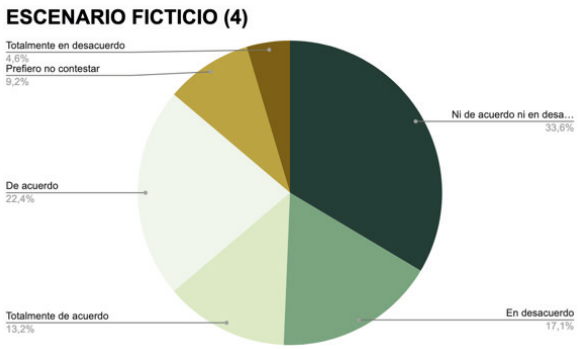


Gráfico 23: opiniones de los encuestados ante el cuarto escenario. Elaboración propia.

6.2 Resultados obtenidos en la encuesta realizada a canadienses

El análisis de los datos revela un perfil de encuestado en su gran parte joven. La gran mayoría de los participantes (75.6%) se encuentra en el grupo de edad de 16 a 25 años. 11% se negó a precisar su edad, 8,5% se encuentra en el rango de edad de 40 a 60 años, 2,4% en el de 25 a 40 y otro 2,4% en el de más de 60. Por lo tanto, hay que resaltar que la gran parte de las respuestas de esta encuesta vienen de un público de entre 16 a 25 años, en comparación con la encuesta española que presentó una mayoría de encuestados de entre 40 y 60 años.

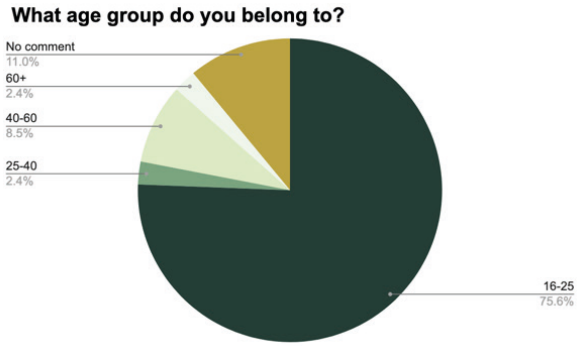


Gráfico 24: porcentaje de los distintos grupos de edad a los que pertenecen los encuestados. Elaboración propia.

Al igual que la encuesta española, la muestra está compuesta en su mayoría por mujeres (73,2%) y un 24,4% de hombres.

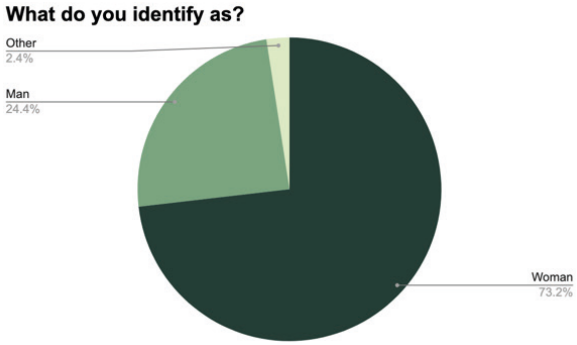


Gráfico 25: porcentaje de hombres y mujeres que han realizado la encuesta. Elaboración propia.

La gran parte de la muestra se corresponde con personas jóvenes, por lo que el nivel de educación predominante es la educación secundaria (70,7%), seguido por estudios de grados (17,1%).

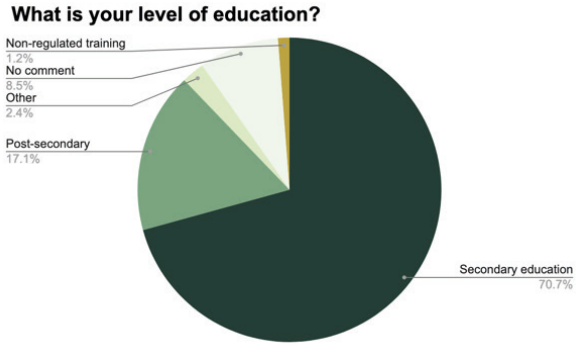


Gráfico 26: porcentaje del nivel de estudios de los participantes. Elaboración propia.

Acorde con el grupo de edad mayoritario, un 73,2% de los participantes estudian, un 17,1% trabaja y un 3,7% está jubilado.

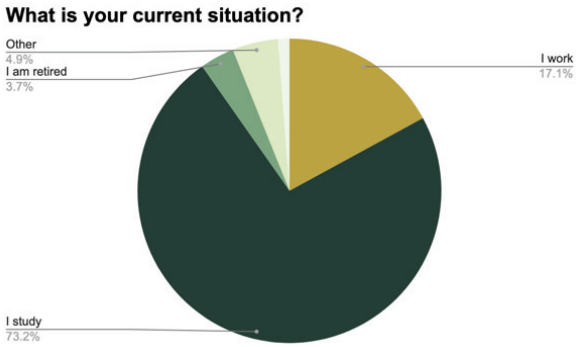


Gráfico 27: la situación actual de los encuestados. Elaboración propia.

Al igual que en la encuesta española, donde el rechazo total es minoritario (3,7%) , pero la aceptación incondicional (22%) también lo es ya que la mayoría (63,4%) de los encuestados indica que su apoyo varía según las circunstancias.

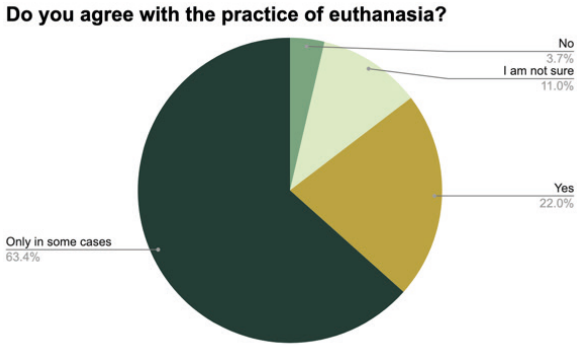


Gráfico 28: porcentaje de encuestados a favor de la eutanasia. Elaboración propia.

Para los 58 encuestados que respondieron “Sólo en algunos casos”, se les pidió que

especificaran las condiciones bajo las cuales la eutanasia no debería ser aceptada. Las condiciones más relevantes para estos fueron: cuando el paciente no puede dar su propio consentimiento (70,7%), depresión y otros trastornos mentales (63,8%), cuando existe la posibilidad de recuperación (53,4%) y cuando hay conflicto con creencias religiosas y/o culturales (43,1%).

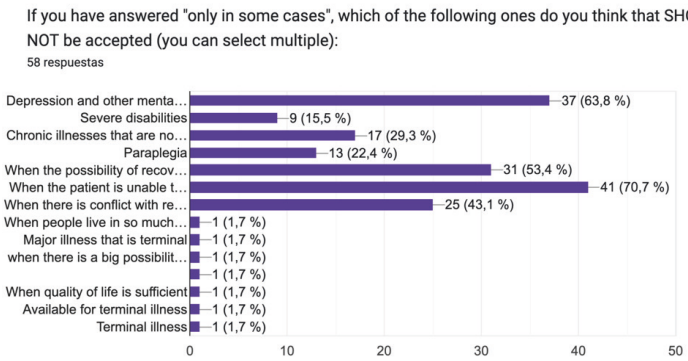


Gráfico 29: los distintos casos donde los encuestados no aceptarían la eutanasia. Google Forms.

La percepción sobre la opinión del entorno cercano (familia, amigos) muestra una cierta incertidumbre. Al preguntar si su círculo está de acuerdo con la eutanasia, un 48,8% admitió no saber lo que opina sus conocidos sobre el tema, un 24,4% afirmó que la mayoría está de acuerdo,

un 14,6% percibe una división con mitad a favor y mitad en desacuerdo con la prática y sólo un 12,2% piensa que la mayoría de su círculo no está a favor.

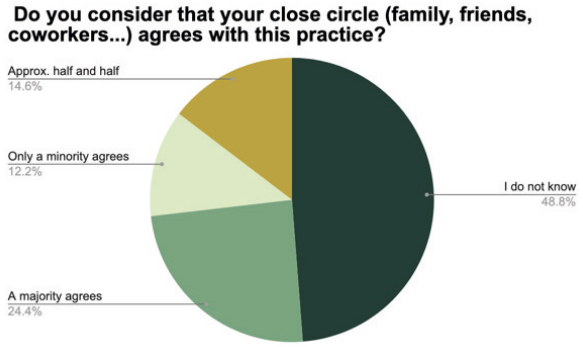


Gráfico 30: opiniones sobre la eutanasia percibidas por los encuestados en sus entornos cercanos. Elaboración propia.

El hecho de que más de la mitad de los participantes desconozca la postura de su entorno inmediato podría estar directamente relacionado con la frecuencia con la que se discute el tema. Los datos confirman que el tema es poco tratado: 63,8% no recuerda haber hablado del tema, 29,3% discute el tema pero con poca frecuencia y sólo un 2,4% habla de la muerte médicamente asistida a menudo.

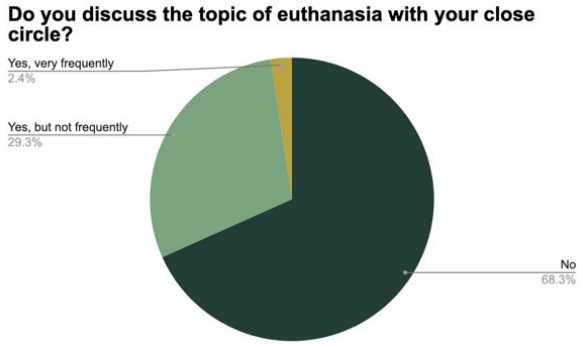


Gráfico 31: porcentaje de encuestados que habla sobre la eutanasia con su entorno cercano. Elaboración propia.

A pesar de la falta de diálogo, una mayoría de los encuestados (64.6%) ha buscado o consumido información sobre la eutanasia de forma activa.

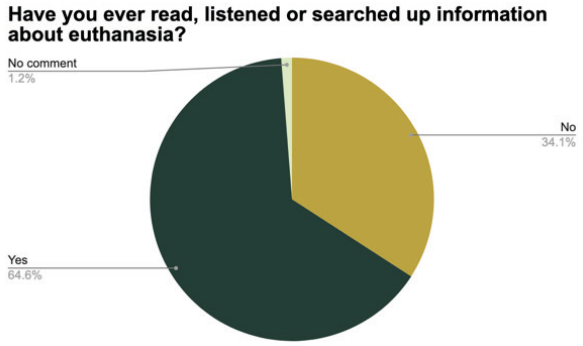


Gráfico 32: porcentaje de participantes que ha consumido algún tipo de información sobre la eutanasia. Elaboración propia.

Las fuentes de información más citadas fueron las redes sociales (58,6%), los documentales (27,6%) y los periódicos (24,1%). Los medios sociales como fuente de información principal coincide con el perfil demográfico de la muestra.

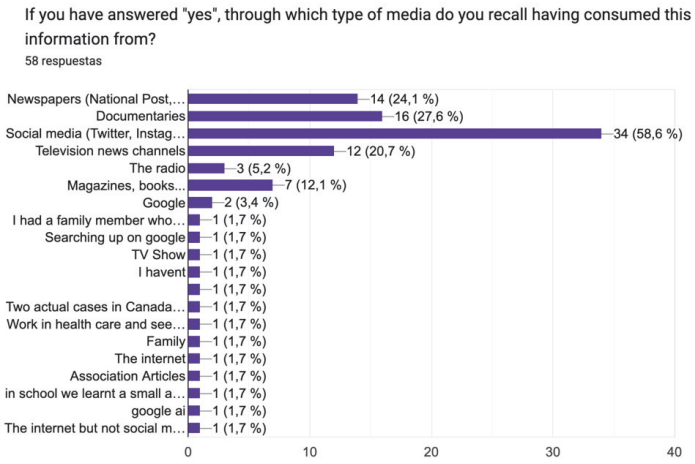


Gráfico 33: porcentaje de principales fuentes de información usadas para obtener un mayor conocimiento sobre la eutanasia. Google Forms.

El impacto percibido de esta información en la opinión de quienes la consumieron es mixto. De los 53 encuestados que buscaron información 38,7% indicaron que no les impactó de ninguna manera. Otro 37,3% reportaron una influencia positiva y un 6,7% reportan un impacto negativo.

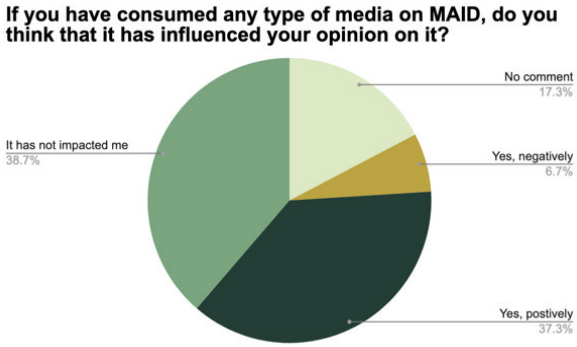


Gráfico 34: impacto que han tenido el consumo de información de la eutanasia. Elaboración propia.

En general, los resultados de la encuesta muestran que la mayoría de la gente conoce muy poco sobre la ley que regula la eutanasia en Canadá: 30 personas (36,6%) dijeron que sabían que existía una ley pero no mucho más, 24 (29,3%) ni siquiera sabían que se había aprobado, 26 (31,7%) afirmaron conocerla bien y 2 (2,4%) no comentaron.

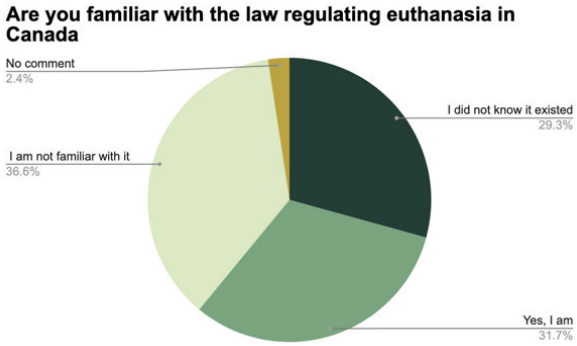


Gráfico 35: porcentaje de encuestados que están familiarizados con la LORE. Elaboración propia.

Esto se nota aún más cuando se preguntan cosas concretas, porque sólo 20 encuestados (26,3%) dijeron conocer el proceso de solicitud, mientras que 51 (67,1%) no lo conocían.

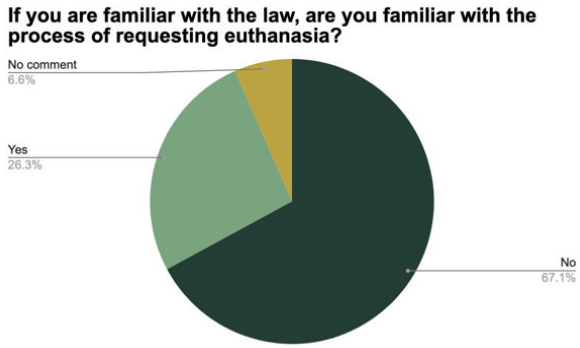


Gráfico 36: porcentaje de encuestados familiarizados con el proceso de solicitud de la eutanasia. Elaboración propia.

Algo parecido pasa con el "testamento vital": 40 personas dijeron saber describirlo, 36 no lo sabían y 6 no contestaron.

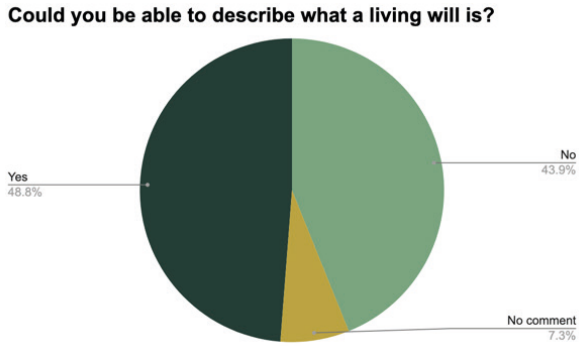


Gráfico 37: porcentaje de encuestados familiarizados con el testamento vital. Elaboración propia.

Además, un 43,9% tampoco sabe cuánto conoce su propio entorno y un 19,5% afirma que una mayoría no conoce bien estos procesos, lo que confirma que casi no se habla de este tema. Todo esto muestra que hay una desconexión entre las opiniones generales sobre la eutanasia y el conocimiento real de cómo está regulada.

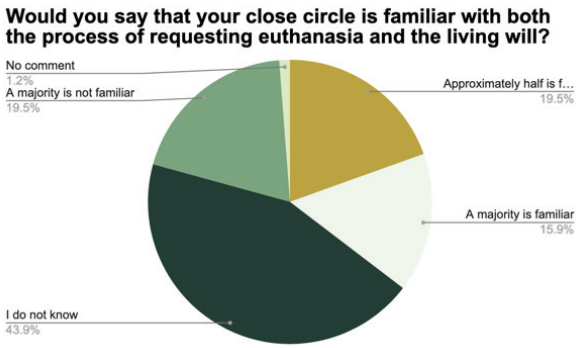


Gráfico 38: porcentaje de encuestados que piensan que su entorno cercano está familiarizado con los procesos anteriores. Elaboración propia.

A pesar de la gran desinformación mostrada por los encuestados, un 75,6% se mostró abierta a la idea de aprender más sobre la eutanasia y todo aquello que conlleva mientras que un 18,3% se negó a aprender más.

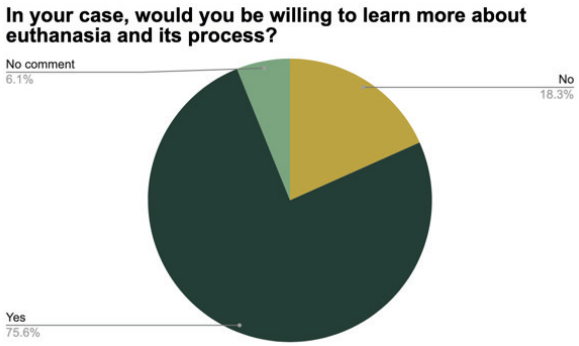


Gráfico 39: porcentaje de encuestados dispuestos a aprender más sobre la eutanasia. Elaboración propia.

Un 24,4% de los participantes han conocido a alguien que ha solicitado la eutanasia, una cifra bastante grande si se toma en cuenta la escala de la encuesta. Sin embargo, este porcentaje no es sorprendente ya que el porcentaje de muertes médicamente asistidas en Canadá es bastante mayor que el porcentaje en España.

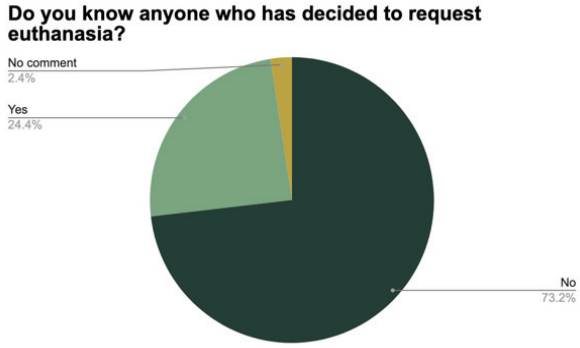


Gráfico 40: porcentaje de encuestados que ha conocido a alguien que ha solicitado la eutanasia. Elaboración propia.

La mayoría de los participantes que han conocido a alguien que ha solicitado la eutanasia no ha comentado nada al respecto, pero un 26,2% se ha mostrado indiferente a la experiencia, mientras que un 19% percibe la eutanasia de manera más positiva y un 2,4% de manera más negativa.

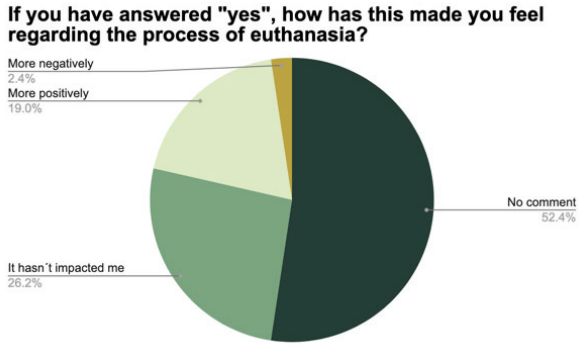


Gráfico 41: impacto generado en los encuestados que han conocido a alguien que ha solicitado la eutanasia. Elaboración propia.

Lo más sorprendente de los resultados de esta encuesta ha sido el principio bioético al que los canadienses han puesto mayor importancia: la beneficencia (42,7%). A pesar de estar casi empatada con la autonomía (37,8%), este resultado es bastante inesperado ya que se predecía una gran predominancia de la autonomía. La no maleficencia (6,1%) y la justicia (4,9%) obtuvieron muy pocos votos en comparación con los otros dos principios. Esto puede interpretarse como que la mayoría de los encuestados consideran que el bienestar del paciente está por encima de todo, incluyendo su propia voluntad.

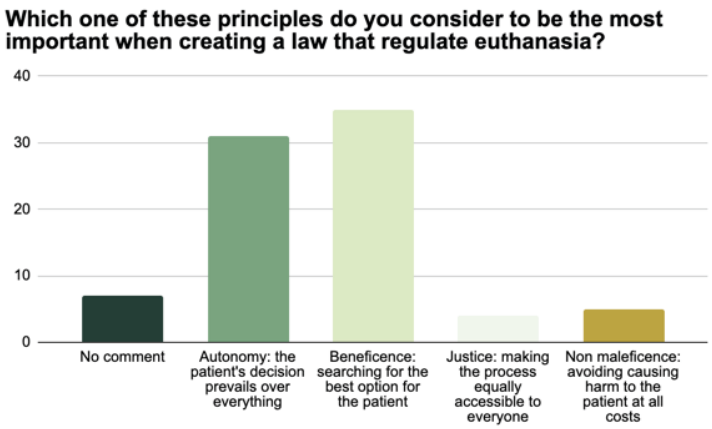


Gráfico 42: principios bioéticos considerados más importantes por los encuestados. Elaboración propia.

ESCENARIO FICTICIO (1): El caso planteado fue el mismo que el de la encuesta española. Este pone en primer plano la autonomía del paciente y un 68,3% de los participantes se puso totalmente de acuerdo (51,2%) o de acuerdo (17,1%) con que el paciente debería de recibir la eutanasia a pesar de la opinión de su familia. Sin embargo, el elevado número de encuestados que no respondieron (17.1%) podría indicar una incomodidad con el conflicto familiar presentado.

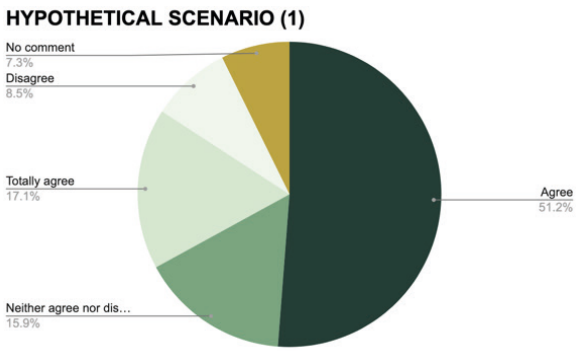


Gráfico 43: opiniones de los encuestados ante el primer escenario. Elaboración propia.

ESCENARIO FICTICIO (2): Más de la mitad de la muestra (56,1%) se posicionó a favor de la decisión del médico. Esta cifra coincide con el gran número de personas que eligió la beneficencia como el principio más importante. Un 25,6% mantuvo una posición neutra y un 13,4% seleccionó la opción de "en desacuerdo".

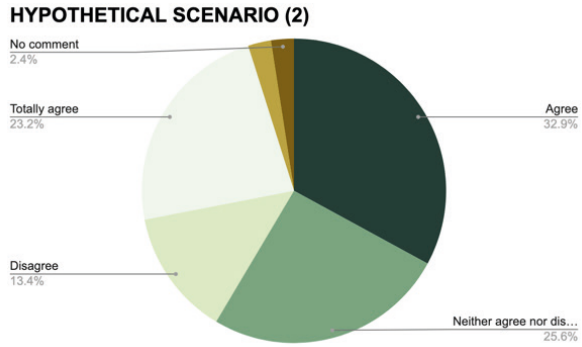


Gráfico 44: opiniones de los encuestados ante el segundo escenario. Elaboración propia.

ESCENARIO HIPOTÉTICO (3): A pesar de que la justicia fue el principio menos votado, una extensa mayoría de los participantes (82,9%) se puso de acuerdo con el hecho de que el paciente merecía recibir información sobre todas sus opciones posibles.

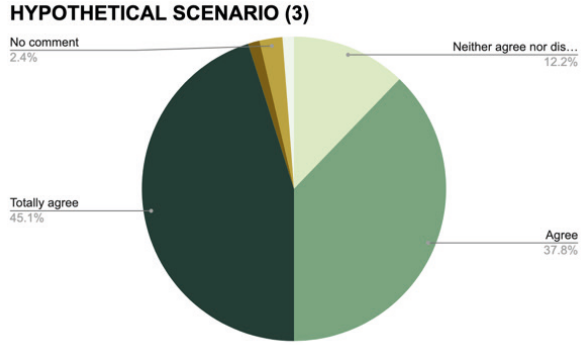


Gráfico 45: opiniones de los encuestados ante el tercer escenario. Elaboración propia.

ESCENARIO HIPOTÉTICO (4): Finalmente, un 35,3% de los canadienses indicaron que no estarían de acuerdo con que un paciente recibiese eutanasia a por el sufrimiento físico que podría provocar en sus últimos momentos. Esta última gráfica resulta contradictoria ya que la no maleficencia fue de los principios menos votados, sin embargo la mayoría de la muestra se niega a que un paciente reciba la eutanasia si esta le puede provocar algún tipo de sufrimiento. No obstante, también se puede enlazar con la beneficencia, el principio más votado, ya que piensan que lo mejor para el paciente en ese momento es no recibir la ayuda necesaria para morir. Otro 31,7% no se decantó ni por una opción ni por la otra. Esto puede señalar que ven

el debate que rodea la no maleficencia como un más complejo, ya que a la mayoría le ha costado decantarse por una opción específica.

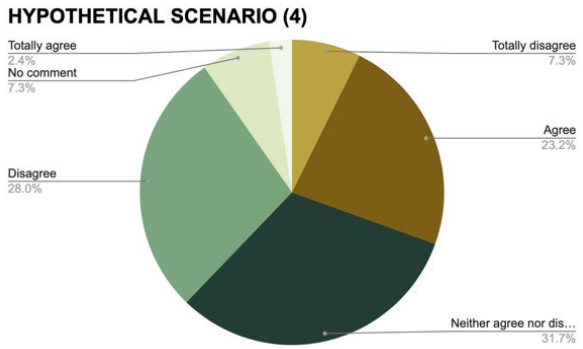


Gráfico 46: opiniones de los encuestados ante el tercer escenario. Elaboración propia.

7. CONCLUSIONES

Para poder concluir este proyecto, se debe recordar la hipótesis principal. Esta afirmaba, a rasgos generales, que la sociedad canadiense muestra una mayor aceptación hacia la muerte médicamente asistida que la población española. Tras la realización de las dos encuestas a habitantes de ambos países, los resultados desmienten la hipótesis. A pesar de que ambas muestras mostraron similares porcentajes de aceptación del proceso; España un total de 89,5% y Canadá un 85,4%, el apoyo incondicional obtuvo un mayor porcentaje de votos en España que en Canadá. No obstante, esto validó la segunda hipótesis: aquellos rodeados por personas que aceptan el procedimiento son más propensos a aceptarlo también. La gran parte de los españoles encuestados se situaron a favor de la eutanasia, y casi la mitad de estos se pusieron de acuerdo con que sus entornos cercanos están a favor de el proceso, por lo que aquellos que se mueven por círculos donde la eutanasia es aceptada suelen tender a aceptarla ellos mismos también. Esto está directamente relacionado con la frecuencia con la que se habla del tema. Aproximadamente un 70% de los españoles recordaron haber discutido este tópico con su entorno por lo menos una vez. Por otra parte, en Canadá se mostró una menor frecuencia discursiva. Más de la mitad de la muestra indicó que nunca había hablado de la eutanasia con sus conocidos, y consecuentemente casi la mitad de los encuestados eran inconscientes de las posiciones que sostienen sus amigos y familiares con respecto al tema.

La encuesta dejó clara que los canadienses no suelen hablar de este tema, y al no tratarlo, la mayoría no está familiarizada con todos aquellos aspectos que conlleva la eutanasia. Sin embargo, más de la mitad reconoció haber consumido información relacionada con esta, pero una cosa es consumir información y otra es discutir la información consumida. Los canadienses no se opones a la muerte médicamente asistida, incluso una gran parte de los encuestados han conocido a personas que la han solicitado, pero sus habitantes no hablan sobre el tema. Una menor presencia de la eutanasia en el discurso cotidiano lleva a, como se ha observado en la encuesta, una gran desinformación.

La tercera hipótesis respalda cómo una mayor aceptación lleva a un mayor conocimiento. La muestra española, al mostrarse más abierta a la opción de la muerte asistida, demostró un mayor conocimiento del tema, verificando que la aceptación se relaciona con el nivel de conocimiento. Ahora bien, gran parte de los españoles indicaron que la mayoría de sus conocidos no están familiarizados con los procesos, por lo que una gran parte de la población sigue sufriendo un cierto grado de desconocimiento. El impacto de los medios de comunicación que tratan el tema de la eutanasia es menor al esperado, ya que en ambas encuestas, los participantes no se mostraron afectados por la información recibida sobre la eutanasia. Por esta razón, los medios de comunicación no contribuyen a las opiniones formadas sobre la eutanasia.

La última hipótesis afirmaba que los canadienses dan una gran importancia al principio de la autonomía. Las encuestas mostraron una predominancia de votos a favor de éste, lo que serviría para confirmar que la tendencia al individualismo no sólo prevalece en Canadá. Sin embargo, los participantes también coincidieron en la importancia que dan a la beneficencia, a pesar del supuesto inicial de que los españoles iban a dar una importancia más equilibrada a los cuatro principios. Lo más sorprendente fue el hecho de que la beneficencia obtuvo unos cuantos votos más en la encuesta canadiense, demostrando que el pertenecer a una sociedad individualista no tiene por qué repercutir en el hecho de desear lo mejor para el otro.

En conclusión, la manera en la que cada sociedad afronta el fin de la vida no se basa únicamente en leyes y principios bioéticos, también requiere diálogo social.

8. MÁRGENES DE ERROR

Los principales márgenes de error están relacionados con la muestra. El número de los españoles encuestados superó al número de canadienses por 70 personas y esta desigualdad es una posible causa de la alteración de los resultados. No sólo eso, sino que los grupos de edad no se pudieron equilibrar correctamente. La encuesta canadiense muestra mayoritariamente las opiniones de adolescentes y adultos jóvenes mientras que la española refleja las actitudes de personas más adultas. Este es el principal problema, ya que quizás si se hubiesen encuestado a más adultos canadienses, se hubiese encontrado un mayor porcentaje de estos que hablan sobre la eutanasia y tienen un mayor conocimiento sobre el tema. Por último, analizar opiniones personales corre el riesgo de obtener datos más subjetivos que no reflejan exactamente lo que piensan las personas.

9. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El tema de la eutanasia y sus implicaciones es extremadamente extenso, por lo que este proyecto se podría continuar por una variedad de caminos distintos.

- Al haber observado una gran desinformación, sobre todo en Canadá, sería interesante averiguar cuáles son los mitos más comunes que rodean la muerte médicamente asistida para poder desmentirlos.
- La mayoría de las religiones destacan una y otra vez el argumento de "no matarás" para oponerse a la eutanasia. Sin embargo, la eutanasia a veces se propone como una solución para el dolor del paciente, con la intención de "ayudar al prójimo", por lo que analizar los distintos grados de aceptación en distintas religiones podría ser una propuesta interesante.
- Hay ciertas sociedades que se apoyan más en medicamentos, usándolos como soluciones para incluso problemas mínimos. ¿Ser un miembro de una de estas sociedades sobremedicadas influye en la perspectiva que se tiene de la muerte médicamente asistida?

10. BIBLIOGRAFÍA

- Ángel, G. P. M. (2006, 1 abril). *Los principios de la bioética y la inserción social de la práctica médica*. Revista de Administración Sanitaria Siglo XXI. https://www.elsevier.es/es-revista-revista-administracion-sanitaria-siglo-xxi-261-articulo-losprincipios-bioetica-insercion-social-13091842
- Armanian, N. (2019, 15 abril). Eutanasia en Oriente: de India a China, de Irán a Israel. *Display Connectors, SL*. https://www.publico.es/opinion/columnas/eutanasia-oriente-india-china-iran-israel.html
- Bioeticaweb, & Bioeticaweb. (2024, 23 agosto). *La despenalización de la eutanasia en España: 9 razones a favor y 9 respuestas*. Bioetica En la Red: La Bioética. https://www.bioeticaweb.com/la-despenalizacion-de-la-eutanasia-en-espana-9-razones-a-favor-y-9-respuestas/
- *BOE-A-2002-22188 Ley 41/2002, de 14 de noviembre, básica reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica*. (s. f.). https://www.boe.es/buscar/act.php?id=-BOE-A-2002-22188
- Cardus. (2025, 13 mayo). *From Exceptional to Routine | Cardus*. https://www.cardus.ca/research/health/reports/from-exceptional-to-routine/
- *Country comparison tool*. (s. f.). https://www.theculturefactor.com/country-comparison-tool?countries=canada%2Cspain
- Derecho a Morir Dignamente. (2025, 19 junio). *Eutanasia en España | Derecho a Morir Dignamente*. Derecho A Morir Dignamente. https://derechoamorir.org/eutanasia-en-espana/
- *Dimensiones culturales de Hofstede –*. (s. f.). https://aprendeycambia.net/1118-2/
- Dmd, P. (2024, 11 junio). *Los pasos para pedir una eutanasia en España | Derecho a Morir Dignamente*. Derecho A Morir Dignamente. https://derechoamorir.org/2021/04/06/pedir-eutanasia-espana/
- *España tiene, de media, 0,6 unidades de cuidados paliativos por cada 100.000 habitantes, siendo la recomendación de 2, una hospitalaria y otra domiciliaria*. (s. f.). https://www.fesemi.org/informacion/prensa/semi/espana-tiene-de-media-06-unidades-de-cuidados-paliativos-por-cada-100000
- *Eutanasia: estos son los medicamentos y su uso recomendado por Sanidad*. (2021, 7 julio). Redacción Médica. https://www.redaccionmedica.com/secciones/sanidad-hoy/eutanasia-estos-son-los-medicamentos-y-su-uso-recomendado-por-sanidad-5569

- Ferreyra, J. P., Ferreyra, J. P., & Ferreyra, J. P. (2018, 9 noviembre). Una mujer adelanta su muerte para cumplir la ley de eutanasia de Canadá. *El País*. https://elpais.com/sociedad/2018/11/09/actualidad/1541775548_087980.html
- *frame1*. (s. f.). https://www.ub.edu/ciudadania/hipertexto/evolucion/trabajos/0304/3/2.htm
- García, L. M. (2022, 15 septiembre). Qué es el suicidio asistido al que recurrió Godard y en qué se diferencia de la eutanasia. *Newtral*. https://www.newtral.es/que-es-suicidio-asistido-diferencia-eutanasia/20220915/
- Government of Canada, Department of Justice, Electronic Communications. (2024, 31 julio). *Canada's medical assistance in dying (MAID) law*. https://www.justice.gc.ca/eng/cj-jp/ad-am/bk-di.html
- Güell, O., Güell, O., & Güell, O. (2025, 18 mayo). María Luisa Carcedo: *"Los retrasos que se están produciendo en los tribunales incumplen la ley de la eutanasia"*. *El País*. *https://elpais.com/sociedad/2025-05-18/maria-luisa-carcedo-los-retrasos-que-se-estan-produciendo-en-los-tribunales-incumplen-la-ley-de-la-eutanasia.html*
- *Health Care (Consent) and Care Facility (Admission) Act*. (s. f.). https://www.bclaws.gov.bc.ca/civix/document/id/complete/statreg/96181_01?utm_source=chatgpt.com#section4
- Heritage, C. (2024, 2 agosto). *Guide to the Canadian Charter of Rights and Freedoms*. Canada.ca. https://www.canada.ca/en/canadian-heritage/services/how-rights-protected/guide-canadian-charter-rights-freedoms.html
- Instituto Europeo de la Salud y El Bienestar. (2025, 20 junio). *Esperanza de vida al nacer en España 2025 – A la Cabeza de la UE*. Instituto Europeo de la Salud y el Bienestar. https://institutoeuropeo.es/esperanza-de-vida-en-espana-2025/
- Lerma-García, D., Parra-Fernández, M. L., Romero-Blanco, C., Olmo-Mora, M. S., & Onieva-Zafra, M. D. (2024). Nurses' opinions on euthanasia in Spain: an evaluation using a new version of the EAS. *BMC Nursing, 23*(1). https://doi.org/10.1186/s12912-024-02176-5
- Linde, P., Linde, P., & Linde, P. (2024, 12 diciembre). Las muertes por eutanasia siguen creciendo en España, pero no tanto como las solicitudes. *El País*. https://elpais.com/sociedad/2024-12-12/las-muertes-por-eutanasia-siguen-creciendo-en-espana-pero-no-tanto-como-las-solicitudes.html
- Maragall, E. F. P. (2022, 6 mayo). El testamento vital, ¿qué es y para qué se utiliza? *El testamento vital, ¿qué es y para qué se utiliza?* https://blog.fpmaragall.org/testamento-vital
- Mateo, J. J., Mateo, J. J., & Mateo, J. J. (2023, 9 marzo). 9.300 objetores: el 1,3% de los sanitarios españoles se niega a practicar la eutanasia. *El País*. https://elpais.com/sociedad/2023-03-09/9300-objetores-el-13-de-los-sanitarios-espanoles-se-niega-a-practicar-la-eutanasia.html
- *Medical assistance in dying: Overview*. (2025, 27 agosto). Canada.ca. https://www.canada.ca/en/health-canada/services/health-services-benefits/medical-assistance-dying.html
- Navas, M. E. (2021, 10 diciembre). *Eutanasia psiquiátrica: en qué consiste la controvertida práctica y en qué países donde se realiza*. BBC News Mundo. https://www.bbc.com/mundo/noticias-59418970#:~:text=El%20psiquiatra%20Manuel%20Bouso%C3%B1o%20asegura,disminuir%20el%20nivel%20de%20sufrimiento%22.
- *Prestación de ayuda para morir (eutanasia)*. (2025, 3 septiembre). Comunidad de Madrid. https://www.comunidad.madrid/servicios/salud/prestacion-ayuda-morir-eutanasia
- *¿Qué es el consentimiento informado?* (s. f.). Hospital Universitario Severo Ochoa. https://www.comunidad.madrid/hospital/severoochoa/node/479
- *¿Qué es la bioética y para qué sirve?* (2023). https://www.unir.net/. https://www.unir.net/revista/salud/que-es-bioetica/
- Redacción. (2019, 7 junio). *Qué son la eutanasia pasiva y activa y en qué se diferencian del suicidio asistido*. BBC News Mundo. https://www.bbc.com/mundo/noticias-48551092
- RTVE.es. (2010, 6 mayo). Primer caso de eutanasia pasiva en Suecia tras suavizarse la normativa. *RTVE.es*. https://www.rtve.es/noticias/20100506/primer-caso-de-eutanasia-pasiva-en-suecia-tras-suavizarse-la-normativa/330322.shtml
- Salazar, C. J. (2024, 25 octubre). Muerte digna en el mundo: ¿dónde es legal la eutanasia? *desclab*. https://www.desclab.com/post/mundo
- Shavelson, L. (2019). *Medical aid in dying medication protocols, explained and compared*. https://www.aadm.org/wp-content/uploads/2024/11/12-5-19-DDMA-instead-of-DDMP2.pdf
- Vogel, L. (2015). Many doctors won't provide assisted dying. *Canadian Medical Association Journal, 187*(13), E409-E410. https://doi.org/10.1503/cmaj.109-5136
- What is a living will? And how to make one. (2025, 9 junio). *Insights*. https://www.ig.ca/en/insights/what-is-living-will
- Yousif, N. (2024, 12 diciembre). *Assisted dying now accounts for one in 20 Canada deaths*. https://www.bbc.com/news/articles/c0j1z14p57po

11. ANEXOS

Encuesta realizada a los españoles:

Encuesta realizada a los canadienses:

Página web sobre la eutanasia:

La dignidad como argumento a favor y en contra:

Desarrollo de un Robot Educativo para la Asistencia Docente en Educación Secundaria

David Hernández Barquero

Tutora: Paola Pucci

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a Paola Andrea Pucci por su dedicación y ayuda. Gracias por ayudarme y estar allí siempre que tenía dudas.

A Óscar Martínez Graullera, gracias por ayudarme en la selección del hardware y con los problemas que tuve con él. Gracias por tu tiempo y dedicación, sin ella habría sido mucho más difícil terminar el robot a tiempo.

A José Fernando López García, gracias por ayudarme a hacer la impresión 3D, enseñarme a manejar bien los archivos para la impresión 3D y ayudarme a encontrar empresas que imprimieran este tipo de archivos. Una mención también a la universidad Pontificia Comillas por imprimirme el modelo 3D de forma gratuita.

A María Guijarro Mata-García y Joaquín Recas Piorno de la Universidad Complutense, quiero agradeceros vuestra paciencia y ayuda en la programación del robot.

A mis padres, gracias por vuestro apoyo, dedicación y paciencia.

A mi familia y amigos, gracias por vuestro apoyo incondicional.

Por último, quiero agradecer al I.E.S. Guadarrama por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo de investigación.

ÍNDICE

1. Resúmenes, palabras clave y definiciones.....214
1.1. Resumen.....214
1.2. Abstract.....214
1.3. Abreviaturas, acrónimos y definiciones215
2. Introducción.....215
2.1. Justificación.....215
2.2. Hipótesis.....216
2.3. Objetivos.....216
3. Marco teórico217
3.1. Inteligencia artificial.....217
3.1.1. Redes neuronales.....217
3.1.2. Aprendizaje automático y aprendizaje profundo....219
3.1.3. Implementación de la inteligencia artificial en el ámbito educativo.....220
3.1.4. La inteligencia artificial en el ámbito educativo.....220
3.2. Microordenadores.....220
3.2.1. Pines GPIO.....220
3.2.2. Raspberry Pi.....221
3.3. Lenguajes de programación.....221
3.3.1. Clasificación de los Lenguajes de Programación..221
3.3.2. Lenguajes de Programación Utilizados: Python....222
3.4. Tecnología de medios externos.....222
3.4.1. Tecnologías de voz.....222
3.4.2. Análisis de imagen.....222
4. Metodología.....223
4.1. Visión global.....223
4.1.1. Diseño y construcción del robot.....223
4.1.2. Programación del robot.....223
4.1.3. Pruebas del robot en el aula.....223
4.1.4. Evaluación y ajustes.....223
4.2. Metodología detallada.....223
4.2.1. Programación del asistente docente.....223
4.2.2. Modelado del diseño tridimensional.....226
4.2.3. Montaje del robot.....226
5. Experimentación y recogida de datos.....227
5.1. Formato de las pruebas.....227
5.2. Cuestionario del alumnado.....227
5.2.1. Análisis estadístico.....227
5.2.2. Elección del análisis correcto.....227
5.3. Cuestionario del profesorado.....228
5.4. Pruebas del robot.....228
6. Resultados y discusión.....228
6.1. Robot.....228
6.2. Pruebas preliminares.....229
6.3. Formularios de los alumnos.....230
6.3.1. Respuestas de los alumnos.....230
6.3.2. Conclusiones de las respuestas del alumnado.....232
6.3.3. Resultados de la remodelación de la voz.....232
6.4. Formularios del profesorado.....232
6.4.1. Respuestas de los profesores.....232
6.4.2. Conclusión de las respuestas de los profesores....233
7. Conclusiones.....233
8. Próximas líneas de investigación.....233
8.1. Mejoras del prototipo.....233
8.2. Estudios posteriores.....233
9. Bibliografía.....234
10. Anexos.....235

1. Resúmenes, palabras clave y definiciones

1.1. Resumen

La inteligencia artificial y la robótica se están incorporando en diferentes facetas de nuestra sociedad, tanto a nivel profesional como personal. Por eso, el objetivo de este proyecto es evaluar cómo se pueden incorporar al mundo educativo. Para ello se ha construido y programado un robot cuya función era complementar la labor de los profesores de educación secundaria, lo que podría significar clases más eficientes y amenas al repartir la carga de trabajo.

La primera fase del proyecto ha sido programar y construir la electrónica de un robot. Se implementaron funciones para permitir mayor accesibilidad al alumnado, como la transcripción de voz, la captura y el análisis de imágenes, y el habla. Además, se utilizó la inteligencia artificial para una generación adecuada de respuestas y realización correcta de cálculos, permitiendo así el diálogo académico. En paralelo a esto, se diseñó un modelo tridimensional para la sujeción de los componentes y su aplicación correcta. Tras la finalización de la programación y construcción del robot, se procedió con el ensamblaje utilizando el modelo diseñado y técnicas como la impresión 3D o el corte láser en madera. Se pintó el modelo para un acabado estético y una experiencia agradable.

Una vez finalizado el robot, se pasó a las pruebas piloto en clases. Se introdujo al robot en clases de Matemáticas y Física y Química de nivel variado entre 1º de ESO y 1º de Bachillerato y se animó a dar una clase normal, utilizando el robot para la resolución de dudas donde fuera necesario. Al final de cada clase, se distribuyó un formulario para recoger datos sobre la eficiencia, adecuación y otros ámbitos a evaluar del robot. Además, se envió un formulario de forma digital a los profesores de cada clase para una respuesta valorativa.

Se realizaron 6 pruebas, con una remodelación del robot basada en las valoraciones de los estudiantes tras la segunda prueba. Después de esta remodelación, se repitió la primera prueba, resultando en una mejora notable tras el análisis estadístico de los datos. Con los datos de las pruebas piloto se llevó a cabo un análisis estadístico. En la clase donde se repitió la prueba, se utilizaron los primeros resultados. Este análisis recogió las medias de las respuestas por pregunta y clase para que fueran de igual peso. Primero se hizo un análisis de normalidad para evaluar qué tipo de análisis era necesario. Después, se realizaron pruebas de t-student no pareada o Mann-Whitney sobre las respuestas a las preguntas de dos campos (dependiendo de su distribución, normal y no normal respectivamente) y pruebas de ANOVA unidireccional con prueba posterior de Dunnett o de Kruskal Wallis con prueba posterior de Dunn en las respuestas a las preguntas de más de dos campos (dependiendo de su distribución, normal y no normal respectivamente).

Las respuestas del alumnado fueron muy positivas indicando una alta aceptación del robot, el porcentaje de aceptación (en todas las cuestiones evaluadas) fue estadísticamente significativa con respecto al porcentaje de estudiantes en los que tuvo menos aceptación. Las respuestas de los profesores también eran coincidentes en su mayoría, afirmando que no creían que el robot ayudaría a dar clase teórica, aunque si práctica (en la resolución de ejercicios).

Por esto y basándonos en las respuestas tanto de alumnos cómo de profesores, se puede deducir que la hipótesis es cierta, ya que el robot elaborado tuvo un impacto positivo en la eficiencia y amenidad de la clase.

Palabras clave: inteligencia artificial, robot, asistente docente, diseño 3D.

1.2. Abstract

Robotics and artificial intelligence are being incorporated in many different areas, both professional and personal. Therefore, this project aims to evaluate how it can be included in education. In order to do this, a robot was built and programmed. The robot's role was to complement the teachers in secondary education level, which could result in more efficient and pleasant classes by spreading the burden of teaching.

The first phase of this project was programming and building the electronics of the robot. To enable better accessibility, features like voice transcription, image capture and analysis, and speech, were implemented. In addition to this, artificial intelligence was used to generate adequate responses and to perform calculations. This allowed academic dialogue with the robot. Alongside this, a three-dimensional model was designed to hold and apply the com-

ponents correctly. Once the robot was programmed and built, it was put together with the model designed, using techniques like 3D printing or laser cutting. The model was painted for an aesthetic and pleasurable finish.

Having built the robot, class tests began. The robot was introduced in Mathematics and Physics and Chemistry classes between 1º of Compulsory Secondary Education and 1º of Baccalaureate. They were encouraged to proceed with normal class, using the robot to answer questions and solve problems. Before the class ended, a form was distributed between the students to gather data about the robot's efficiency and suitability. In addition to this, a second form was sent digitally to the teachers present in each class for valuative answers.

6 tests were conducted, and the robot was remodeled after the second one based off the student's feedback. After this, the first test was repeated, which resulted in a notable improvement after the statistical analysis. Using the data from the first test and the results from the other 5, another statistical analysis was conducted. In order to give each test the same weight, averages of the results from each question and class were used. First, a normality test was conducted to evaluate the type of analysis needed. Afterwards, independent t-student or Mann-Whitney tests were applied to the questions with 2 fields (depending on the distribution, normal and otherwise respectively) and unidirectional ANOVA with Dunnet or Kruskal Wallis with post hoc Dunn tests (depending on the distribution, normal and otherwise respectively).

The students' answers were very positive, indicating a high acceptance rate in all questions, which was statistically significant compared with the low acceptance rate answers. The teachers' answers were also mostly similar, stating that the robot would help when doing exercises, although not when teaching theory.

Due to this, based off both teachers' and students' answers, it can be deduced that the hypothesis is true, because the robot had a positive impact on the classes' efficiency and atmosphere.

Key words: artificial intelligence, robot, teacher assistant, 3D design.

1.3. Abreviaturas, acrónimos y definiciones

Este apartado contiene las definiciones necesarias para la comprensión de este trabajo de investigación.

CAD *(Computer Assisted Design):* Diseño asistido por computadora, es un género de formato de archivo utilizado en el diseño de modelos 3D.

Chatbot: un programa basado en inteligencia artificial capaz de reproducir la forma de conversación humana.

Gemini: Familia de modelos de inteligencia artificial generativa de la empresa privada Google.

GPIO *(General Purpose Input Output):* Los pines de conexión general en un microordenador, utilizados generalmente para la conexión de extensiones de placa.

HAT *(Hardware Attached on Top):* Placa de hardware que se conecta con todos los pines GPIO de un microordenador y sirve para ampliar la funcionalidad del microordenador.

HDMI *(High Definition Media Input):* Tipo de puerto por el que se envían imágenes y audio a un periférico.

IA: inteligencia artificial.

Llave API *(Application Program Interface):* Interfaz de programación de aplicaciones, es un conjunto de reglas y protocolos utilizados en la interacción de aplicaciones de software, comúnmente para la integración de una en un programa.

Python: Lenguaje de programación de alto nivel y uso general, utilizado en el proyecto de investigación para la escritura del código de manejo del robot.

Raspberry Pi: Microordenador, utilizado en el proyecto de investigación para programar y manejar los periféricos del robot.

2. Introducción

2.1. Justificación

El uso de un robot educativo programable en el aula tiene un potencial significativo para mejorar la dinámica educativa, tanto en grupos grandes como en clases pequeñas. Diversas normativas educativas, como la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, de Derechos y Libertades de los Estudiantes en la Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato (LOMLOE), subrayan la importancia de la atención individualizada al alumnado, particularmente en la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), para promo-

ver el desarrollo pleno de las capacidades de los estudiantes y favorecer su integración en el sistema educativo.

La atención individualizada, entendida como la capacidad de ofrecer una enseñanza personalizada que se ajuste a las necesidades de cada estudiante, es un principio fundamental en el sistema educativo español. Según la LOMLOE, los centros educativos deben garantizar una atención educativa individualizada, que no solo contemple a los alumnos con necesidades educativas especiales, sino también a aquellos con altas capacidades. La ley obliga a los docentes a adaptar los contenidos y las metodologías de enseñanza para que todos los estudiantes, independientemente de sus características, puedan desarrollar su máximo potencial.

Sin embargo, la implementación práctica de esta atención personalizada se ve limitada por la cantidad de alumnos en cada aula, la diversidad de los perfiles de los estudiantes y las restricciones de tiempo del docente, especialmente en clases grandes.

Este proyecto propone la implementación de un robot educativo como herramienta complementaria, que permitirá personalizar la enseñanza de los estudiantes, adaptándose tanto a contenidos específicos como a las necesidades de cada perfil de alumno. El robot, personalizable por el profesor, le permitirá ofrecer tareas individualizadas a cada alumno según su nivel y necesidades, lo que optimiza la gestión del aula y permite al docente concentrarse en los aspectos más interactivos y de resolución de dudas, mientras el robot ofrece apoyo directo en la comprensión de conceptos y tareas específicas.

El robot favorece una dinámica de clase más activa y participativa, ya que permite a los alumnos interactuar directamente con el contenido educativo, lo que incrementa su motivación y facilita el aprendizaje. En el caso de grupos grandes, el robot permite optimizar el tiempo de los docentes, al ofrecer apoyo en tareas que requieren menos supervisión directa, mientras que, en grupos pequeños, puede enfocarse aún más en la atención personalizada, adaptándose a las necesidades de cada estudiante, tanto de aquellos con altas capacidades como de aquellos que requieren más apoyo.

En resumen, la introducción del robot en el aula mejorará la dinámica de aprendizaje y permitirá optimizar el trabajo del docente, proporcionando herramientas para ofrecer una enseñanza más personalizada y eficiente, alineada con los principios de atención individualizada establecidos por la legislación educativa vigente.

2.2. Hipótesis

El diseño y desarrollo de un robot educativo capaz de asistir en la enseñanza de conceptos académicos avanzados, constituye el primer reto principal del proyecto. Una vez construido, la interacción con este robot mejorará la comprensión y el rendimiento académico de los estudiantes, facilitará la labor del docente y contribuirá a crear un entorno educativo más dinámico y participativo. Asimismo, se espera que el robot apoye la atención educativa individualizada, aumentando la motivación del alumnado y permitiendo una mayor personalización del aprendizaje en el aula.

2.3. Objetivos

Objetivo general:

Desarrollar un robot educativo con inteligencia artificial que asista al profesional docente en el manejo del aula y en la enseñanza al alumnado de educación secundaria.

Objetivos específicos:

1. Diseñar y construir la electrónica de un robot capaz de enseñar conceptos avanzados (como la resolución de ecuaciones o de problemas de cinemática) a nivel secundaria, implementando funciones de visión, escucha y habla.
2. Programar el robot construido, utilizando herramientas como Gemini o Vosk para implementar funciones como la comprensión de una conversación y su continuación mediante la voz.
3. Diseñar y construir el robot diseñado de forma estética, utilizando métodos como la impresión tridimensional o el corte de láser en madera.
4. Introducir el robot en el ámbito académico para probar su funcionalidad en los ámbitos propuestos.
5. Realizar un estudio al alumnado sobre la eficacia del robot en la enseñanza.

3. Marco teórico

Este apartado está destinado a proporcionar un contexto adecuado para la comprensión de este trabajo. Abordará conceptos claves como la Inteligencia Artificial y su posible implementación en ámbitos pedagógicos, los lenguajes de programación, los microordenadores y la tecnología de voz.

3.1. Inteligencia artificial

"La inteligencia artificial es la habilidad de una máquina de presentar las mismas capacidades que los seres humanos, como el razonamiento, el aprendizaje, la creatividad y la capacidad de planear" (Parlamento Europeo, 2020).

Existen varias maneras de clasificar la inteligencia artificial, dependiendo de factores como su capacidad operativa, la forma de operar o el parecido con la mente humana, entre otras.

La más relevante, y la que se tratará en este apartado, es la clasificación según la capacidad operativa o nivel de inteligencia. Según esta clasificación, la inteligencia artificial puede ser débil (ANI) o fuerte (AGI).

La inteligencia artificial débil o específica (en inglés *Artificial Narrow Intelligence*), es aquella que sólo es capaz de realizar tareas concretas, sin capacidad de aprendizaje autónomo ni posibilidad de salir de su área de aplicación. Generalmente es utilizada en proyectos como chatbots, reconocimiento facial o de voz o en análisis de datos.

La inteligencia artificial fuerte o general (en inglés *Artificial General Inteligence*), es la que es capaz de realizar tareas variadas con una amplia gama de habilidades cognitivas. Además, es capaz de aprendizaje autónomo mediante la interacción con el entorno. Los usos más frecuentes de este tipo de inteligencia artificial son en robótica avanzada, vehículos autónomos o asistentes virtuales avanzados (Universidad InterNaciones, s.f.)

La estructura de una inteligencia artificial está basada en la estructura del cerebro humano. Funciona mediante neuronas artificiales y las interacciones entre éstas. Existen varias formas de aprendizaje de una inteligencia artificial según su programación y el uso de las neuronas, como aprendizaje automático y aprendizaje profundo.

3.1.1. Redes neuronales.

Las redes neuronales son modelos computacionales cuya estructura está basada en la de los cerebros humanos. Son capaces de reconocer patrones utilizando operaciones matemáticas llamadas pesos y sesgos.

En una red neuronal existen 3 o más capas: la capa de entrada, la capa o las capas ocultas y la capa de salida.

En la capa de entrada hay tantas neuronas como la forma de los datos de entrada: una imagen de 2x2 píxeles tendría una forma de 4 (4 píxeles totales), por lo que para procesarla serían necesarias 4 neuronas de entrada.

En las capas ocultas hay al menos una neurona por capa, y es donde ocurre el procesamiento de la información. En las capas ocultas, el número de neuronas es independiente de la forma de la información a procesar. La misma imagen de 2x2 píxeles podría ser procesada por 3 capas ocultas de 16, 8 y 4 neuronas respectivamente (IBM, s.f.).

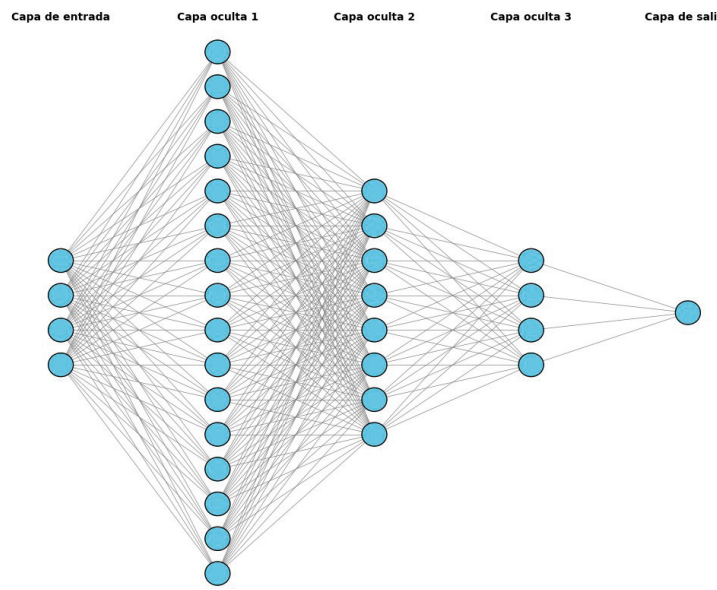


Figura 1: Red neuronal de configuración 4,16,8,4,1. Fuente: Elaboración propia

Cada neurona recibe un dato de entrada, lo procesa y transmite un dato de salida para ser procesado por otras neuronas o para convertirse en el resultado final. Esto se hace mediante los pesos, sesgos y las funciones de activación.

Los pesos son el valor numérico asignado a la conexión entre dos neuronas y determina la fuerza e importancia de

la conexión entre ellas. Dependiendo de la importancia del papel que hace una neurona, el peso es más alto o bajo. Los sesgos son parámetros adicionales que sirven para cambiar las predicciones de la red y suelen reflejar información que las neuronas de entrada no captan (Google Cloud, 2023).

Las funciones de activación son funciones que distorsionan el resultado obtenido por la neurona. Dependiendo de la función de activación, el resultado final obtenido por la red puede ser el de una función u otra (DataCamp, s.f.).

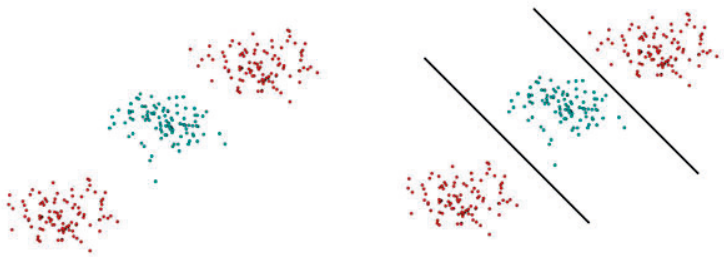


Figura 2: representación gráfica de las funciones de activación lineales. Fuente: https://www.futurespace.es/redes-neuronales-y-deep-learning-capitulo-2-la-neurona/

En la figura 2, se aprecian dos colores de puntos: rojos y azulas. En este ejemplo, la función o las funciones que separa a los puntos por colores son lineales. Al ser las conexiones neuronales lineales también, no es necesaria una función de activación especializada para obtener un resultado correcto.



Figura 3: representación gráfica del contraste entre las funciones de activación lineales y no lineales. Fuente: https://www.futurespace.es/redes-neuronales-y-deep-learning-capitulo-2-la-neurona/

En la figura 3, se aprecia en la izquierda el intento de separación de los puntos según su color de una red neuronal. Al tener una función de activación lineal, no es capaz de separarlos correctamente. Sin embargo, en la derecha de la figura 3, se aprecia una separación correcta de los puntos por color, debido a que la función no es lineal. La función de activación distorsiona la salida de forma controlada, permitiendo resultados distintos y más acertados.

Todas las neuronas de una capa están conectadas con todas las neuronas de la capa anterior y posterior. La potencia del procesado de la información aumenta con el número de relaciones entre neuronas de las capas ocultas.

Por último, en la capa de salida, la información procesada es reconvertida a la forma necesaria, dependiendo de los resultados que se desean obtener, y expulsada para su uso (CEI, s.f.).

3.1.1.1. Tipos de redes neuronales

Existen cuatro tipos principales de redes neuronales: las redes neuronales artificiales (ANN), las redes neuronales convolucionales (CNN), las redes neuronales recurrentes (RNN) y las redes generativas adversariales (GAN) (IBM, s.f.).

Las redes neuronales artificiales (en ingles *Artificial Neural Networks*) son las más básicas. Consisten en una capa de entrada, una o varias capas ocultas y una capa de salida. Las redes neuronales artificiales son usadas para tareas muy variadas, desde reconocimiento de patrones hasta predicciones de mercado financiero (EHU, s.f.).

Las redes neuronales convolucionales (en inglés *Convolutional Neural Networks*) son más útiles en el análisis de datos estructurados en cuadrículas, como en la clasificación de imágenes. Funcionan aplicando capas convolucionales que utilizan filtros para detectar características importantes, y capas de pooling que reducen la dimensionalidad para el resultado final (IBM, s.f.).

Las redes neuronales recurrentes (en inglés *Recurrent Neural Networks*) son utilizadas para procesar datos secuenciales, como series temporales o texto. Las redes neuronales recurrentes tienen conexiones que forman ciclos, permitiendo que la información permanezca y la información donde el contexto es importante, como la traducción automática o el reconocimiento de voz, pueda ser analizada correctamente (IBM, s.f.).

Por último, las redes generativas adversariales (en inglés *Generative Adversative Networks*) consisten en dos redes neuronales que trabajan en conjunto. Una red neuronal genera datos reales y falsos, mientras que la otra los clasifica y le devuelve el resultado a la primera. De esta forma, la red generativa está en constante mejora. Estas redes son comúnmente utilizadas en generación de imágenes y vídeos (AWS, s.f.).

3.1.1.2. Entrenamiento de una red neuronal: aprendizaje automático

Para crear una red neuronal funcional, es necesario generar la red de neuronas artificiales conectadas entre sí, y también entrenarla. El proceso de entrenamiento denominado *machine learning* se repite un número determinado de épocas. Cada época es una repetición de los pasos del entrenamiento (AWS, s.f.).

El primer paso es la inicialización. En este paso, se establecen los pesos iniciales de las conexiones interneuronales. Esto se puede hacer de dos maneras: de forma aleatoria, o utilizando técnicas especializadas para la optimización del proceso (Matich, s.f.).

El segundo paso es la propagación hacia adelante. Durante este paso, los datos de entrada pasan a través de la red. Cada neurona realiza la suma ponderada de las entradas en función de los pesos, y aplica al resultado una función de activación previamente definida (MSMK, s.f.).

El tercer paso es el cálculo del error. En este paso, se compara el resultado de la red con el resultado esperado utilizando una función de pérdida. Esta función compara entre la predicción y el valor real (Matich, s.f.).

El cuarto y último paso es la retropropagación. En este paso, el error calculado se propaga hacia atrás en la red y se ajustan los pesos en función de la diferencia. Este ajuste se realiza mediante un algoritmo de optimización que actualiza los pesos en función de la derivada del error en cada peso (MSMK, s.f.).

El cuarto paso permite la reducción del error de forma progresiva a lo largo de las épocas (en cada época se repiten pasos dos a cuatro). En la figura 3, se aprecia en azul el error de la red en función de la época. A lo largo de 9 épocas, la pérdida se reduce de aproximadamente 0.50 a menos de 0.10, con un ajuste proporcional al error. La pérdida de evaluación es la que se hace introduciendo unos datos de prueba, que no han sido pasados por la red anteriormente, para calcular el error durante el uso (UNIE, 2024).

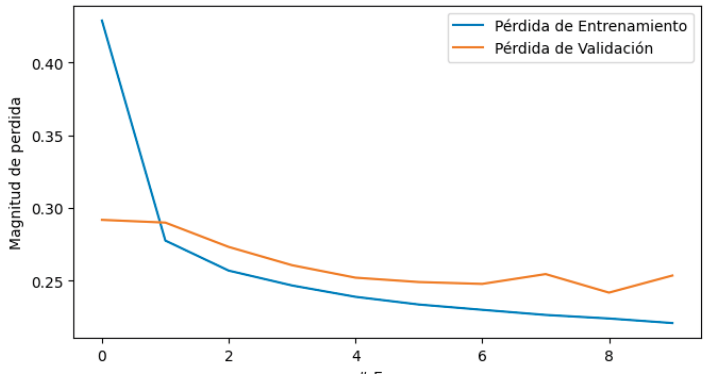


Figura 4: Gráfico mostrando la función de pérdida de una red de clasificación de imágenes en dos zonas: durante el entrenamiento (azul) y durante la evaluación (naranja). Fuente: elaboración propia utilizando la herramienta MatPlotLib.

La capacidad de procesado y de acierto de una red neuronal depende de la eficiencia de su entrenamiento y de la amplitud de la base de datos con la que ha sido entrenada. Redes neuronales de empresas privadas como Google o OpenAI son entrenadas con miles de Gigabytes de datos (OpenAI Community, s.f.).

3.1.2. Aprendizaje automático y aprendizaje profundo

"El aprendizaje automático o *Machine Learning* es una utilidad de la IA que permite que los ordenadores se optimicen con redes neuronales para reconocer patrones y mejorar su interacción con ellos." (Universidad Europea, 2025). Se denomina aprendizaje automático a la forma de aprendizaje de las redes neuronales.

El aprendizaje automático puede ser de varias formas: aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado, aprendizaje semisupervisado y aprendizaje de refuerzo (datos.gob.es, s.f.).

El aprendizaje supervisado es el más utilizado y consiste en entrenar la red neuronal con un grupo de datos etiquetados, ajustando la pérdida.

El aprendizaje no supervisado consiste en entrenar la red neuronal con una serie de datos que no están etiquetados. La red neuronal extrae patrones y los aplica durante el entrenamiento. Tras este proceso, devuelve los datos procesados, pero sin una etiquetación. Este tipo de entrenamiento es usado principalmente para redes de clasificación (INESDI, s.f.).

El aprendizaje semisupervisado consiste en entrenar a la red neuronal con un grupo de datos parcialmente etiqueta-

dos. La red se entrena con los datos etiquetados y aplica ese procedimiento a los datos sin etiquetar (datos.gob.es, s.f.).

Por último, el aprendizaje de refuerzo se realiza tras haber entrenado a la red neuronal con otra técnica. Funciona mediante la indicación al ordenador con la red neuronal de que debe seguir estudiando el entorno, para optimizar las respuestas y reducir riesgos. Sobre todo, es utilizado en áreas como la robótica, donde una respuesta optimizada a una situación concreta es preferible (Universidad Europea, 2025).

El aprendizaje profundo es una subdisciplina del aprendizaje automático que utiliza redes neuronales profundas para ser entrenado con grandes cantidades de datos.

Las redes neuronales profundas se componen de múltiples capas, gracias a las cuales puede extraer características más abstractas de los datos. Las capas iniciales por las que pasan los datos extraen características más básicas, mientras que las capas más profundas combinan las características básicas para reconocer patrones complejos (IBM, s.f.).

El aprendizaje profundo es utilizado en sistemas de reconocimiento de voz o traducción automática, debido a su capacidad de entrenamiento con grandes cantidades de datos sin estructurar (UNIE, 2024).

3.1.3. Implementación de la inteligencia artificial en el ámbito educativo

La inteligencia artificial es una herramienta nueva, recientemente implementada en algunos ámbitos profesionales por su utilidad en procesos como la optimización del trabajo o material, el mantenimiento del equipo o maquinaria y la optimización de la cadena de suministro (UNIR, s.f.). Es considerada la cuarta revolución industrial, debido a su capacidad de automatización de puestos de trabajo con mayor eficiencia y precisión que los seres humanos. Según un informe del banco de inversión Goldman Sachs, la inteligencia artificial podría realizar el trabajo equivalente al de 300 millones de personas a jornada laboral completa. Este informe también afirma que la inteligencia artificial no será capaz de la automatización de muchas industrias, por lo que su rol será uno de complementación del trabajo en vez de sustitución (Goldman Sachs, 2023).

3.1.4. La inteligencia artificial en el ámbito educativo

La inteligencia artificial también está creando una presencia significativa en la educación. Según un estudio llevado por Empantallados.com y GAD3 en 2023, la inteligencia artificial ha sido utilizada por un 82% del alumnado, un 73% del profesorado y un 69% de los padres o madres de los alumnos (Empantallados, s.f.).

En el ámbito educativo, existen 2 roles principales: el profesorado y el alumnado. Para el uso de la inteligencia artificial en este entorno, es necesaria la participación de tanto los docentes como los estudiantes.

En cuanto a los alumnos, es necesaria una educación sobre el uso de la IA, junto a sus peligros y ventajas. Esto permitiría el uso de la inteligencia artificial en las clases de forma variada, como podría serlo un asistente virtual para la monitorización de las tareas y la asistencia al profesional docente. “Se podría crear un asistente virtual que permita responder dudas y preguntas del alumnado a cualquier hora del día sobre diferentes temáticas, proporcionando explicaciones detalladas y ejemplos relevantes para su comprensión.” (INTEF, 2024: 14).

En cuanto a los profesores y profesoras, también sería necesaria una educación sobre la inteligencia artificial y su uso, ya que esta es percibida de forma negativa por su aparente riesgo para la figura de profesor o profesora, a pesar de su inhabilidad para asumir este rol y su limitación a asistente (INTEF, s.f.).

3.2. Microordenadores

“En su versión más simple, los microordenadores son estaciones de trabajo monousuario dotadas de un microprocesador central constituido por un solo chip.” (ACTA, s.f.).

Según la Real Academia de Ingeniería, un microordenador consiste en la integración de un microprocesador con su memoria principal, con los elementos propios de un ordenador (RAING, s.f.). Por tanto, un microordenador se puede utilizar como un ordenador, aunque de forma más limitada y menos potente.

3.2.1. Pines GPIO

Uno de los métodos más comunes de la entrada y salida de datos de un microordenador son los pines GPIO (*General Purpose Input Output* en inglés, propósito general de entrada y salida). Estos pines cumplen la función de comunicar el procesador con el exterior. Generalmente su uso es para la conexión de elementos o componentes individua-

les, a contrario de los puertos USB (*Universal Serial Bus*) o HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*), que sirven para conectar periféricos completos (Solectroshop, s.f.).

3.2.2. Raspberry Pi

Raspberry Pi es una empresa privada que se dedica a crear plataformas de computación como microordenadores o microcontroladores. Sus productos utilizan la arquitectura de ordenador ARM (*Advanced RISC Machines*), que funciona con Linux (Raspberry Pi, s.f.).

El modelo de Raspberry Pi más avanzado hasta la fecha es el Raspberry Pi 5, que cuenta con 40 pines GPIO y 2 transceptores MIPI (*Mobile Industry Processor Interface*) de 4 carriles para cámaras o pantallas, con los que se pueden conectar elementos como cámaras u otros accesorios comunes como HATs o sensores variados (Raspberry Pi, s.f.).

Las HATs (*Hardware Attached on Top*), son placas de circuitería impresa con sensores y actuadores que sirven de extensión de microordenadores. Se conectan a los pines GPIO y complementan los sensores incorporados en el microordenador (Raspberry Pi, s.f.). Un ejemplo es la ReSpeaker 2-Mics Pi HAT, un HAT para un microordenador Raspberry Pi de doble micrófono diseñada para aplicaciones de inteligencia artificial y voz (Seeed Studio, s.f.).

3.3. Lenguajes de programación

Los lenguajes de programación son sistemas de comunicación entre los humanos y las máquinas. Permiten la comunicación de instrucciones a los ordenadores de parte de los programadores, ya que los ordenadores operan en sistema binario (Universidad Europea, s.f.). Para realizar esta conexión con el ordenador, los lenguajes de programación utilizan códigos de caracteres similar al lenguaje humano. Actualmente, son 2 los utilizados de forma más habitual: ASCII (*American Standard Code for Information Interchange) y EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code*) (Ayuntamiento de Alfafar, 2014).

El código ASCII puede ser básico o ampliado según el número de bits y caracteres utilizados. El básico consiste en 7 bits, llegando hasta 128 caracteres, y el ampliado 8 bits, alcanzando 256 caracteres. El código EBCDIC utiliza 8 bits para 256 caracteres. A pesar de sus similitudes, el código ASCII es el estándar para los ordenadores personales, gozando de mayor popularidad por ello. (UNAM/FCA, 1998).

128	Ç	144	É	160	á	176	▒	193	┴	209	╤	225	ß	241	±
129	ü	145	æ	161	í	177	▒	194	┬	210	╥	226	Γ	242	≥
130	é	146	Æ	162	ó	178	▓	195	├	211	╙	227	π	243	≤
131	â	147	ô	163	ú	179	|	196	─	212	╘	228	Σ	244	⌠
132	ä	148	ö	164	ñ	180	┤	197	┼	213	╒	229	σ	245	⌡
133	à	149	ò	165	Ñ	181	╡	198	╞	214	╓	230	µ	246	÷
134	å	150	û	166	ª	182	╢	199	╟	215	╫	231	τ	247	≈
135	ç	151	ù	167	º	183	╖	200	╚	216	╪	232	Φ	248	°
136	ê	152	_	168	¿	184	╕	201	╔	217	┘	233	Θ	249	·
137	ë	153	Ö	169	_	185	╣	202	╩	218	┌	234	Ω	250	·
138	è	154	Ü	170	¬	186	║	203	╦	219	▉	235	δ	251	√
139	ï	156	£	171	½	187	╗	204	╠	220	▄	236	∞	252	_
140	î	157	¥	172	¼	188	╝	205	═	221	▌	237	ϕ	253	²
141	ì	158	_	173	¡	189	╜	206	╬	222	▐	238	ε	254	■
142	Ä	159	ƒ	174	«	190	╛	207	╧	223	▀	239	∩	255	
143	Å	192	└	175	»	191	┐	208	╨	224	α	240	≡		

Figura 5: Tabla de números ASCII y el carácter que representan. Fuente: https://msmk.university/que-es-ascii/

3.3.1. Clasificación de los Lenguajes de Programación

Existen múltiples tipos de lenguajes de programación basados en varios factores, como el nivel de abstracción que manejan, su propósito o el paradigma de programación que siguen. La variedad de los lenguajes permite distintos niveles de abstracción y usos según las características (UOC, s.f.).

3.3.1.1. Según el paradigma de programación

Según el paradigma de programación, existen 4 grupos en los que se pueden clasificar casi todos los lenguajes de programación, siendo estos el imperativo, el aplicativo, el orientado a objetos, y el lenguaje con base en reglas.

Los lenguajes de programación imperativos, también llamados de procedimiento, son lenguajes controlados por órdenes al ordenador. Un programa consiste en unos enunciados a los que sigue el ordenador en orden hasta llegar al resultado definido por el programador. Estos lenguajes de programación son muy comunes en lenguajes de uso amplio, como lo son C, C++ o FORTRAN (IES Fontexería, s.f.).

Los lenguajes aplicativos o funcionales son aquellos que funcionan con el resultado deseado de la operación. A diferencia de los imperativos, que siguen una serie de instrucciones para generar un resultado, los lenguajes de programación aplicativos parten del resultado deseado y generan las funciones y los pasos necesarios para alcanzarlo. Ejemplos de lenguajes aplicativos son Lisp o Haskell. Estos son menos utilizados debido a su inflexibilidad (Pavón, s.f.).

Los lenguajes de programación con base, o basados, en reglas, son aquellos que se ejecutan en función de un estado

o condición que se lo habilita. El lenguaje más común de este tipo es Prolog, conocido también como de programación lógico, cuyas condiciones habilitadoras más simples son expresiones lógicas. Los lenguajes de programación basados en reglas son similares a los imperativos, aunque sin un orden secuencial (UNAM/FCA, 1998).

Los lenguajes de programación orientados a objetos son un tipo de lenguaje muy común. Su funcionamiento se basa en la construcción de objetos de datos y de funciones que operan sobre estos objetos. Los objetos pueden ser más complejos combinando 2 o más objetos simples. Un lenguaje de este tipo es similar en eficiencia a los lenguajes imperativos, y en fiabilidad a los aplicativos, justificando su uso más extendido. Lenguajes de programación orientados a objetos son algunos como Java, Python o JavaScript. (UNAM/FCA, 1998).

3.3.1.2. Según el nivel de abstracción

Los lenguajes de programación también se pueden dividir según el nivel de abstracción, en lenguajes de alto o bajo nivel.

Los lenguajes de bajo nivel se caracterizan por ofrecer control total sobre el *hardware*, permitiendo el uso máximo de la potencia y la velocidad del ordenador. A pesar de esto, su uso no está estandarizado debido a la necesidad de una especialización técnica por parte del programador. Además, estos lenguajes de programación son locales, es decir, solo se pueden ejecutar en una plataforma o un equipo concretos (Lenovo, s.f.).

Los lenguajes de alto nivel surgieron a mediados del siglo XX, y son de sintaxis parecida al lenguaje hablado. Estos lenguajes permiten paradigmas de programación más variados y avanzados que los lenguajes de bajo nivel, además de estructuras de datos más complejas. Este tipo de lenguajes son independientes de la plataforma o el equipo en el que están, realizando de forma automática las complejidades individuales a cada máquina. (CIPSA, s.f.).

3.3.2. Lenguajes de Programación Utilizados: Python

En este proyecto de investigación, se utiliza un lenguaje para la programación del código que dirige al Robot. El lenguaje es de un nivel de abstracción alto, permitiendo su flexibilidad en múltiples ámbitos y la programación sin un conocimiento técnico avanzado.

El lenguaje utilizado es el Python. Python es un lenguaje de programación de alto nivel, de paradigma orientado a objetos, para uso general. Uno de los usos más comunes para este lenguaje es en ciencia de datos e inteligencia artificial, debido a varias razones, como la facilidad de comprensión del código o las bibliotecas incorporadas, que permiten una expansión del código fuera del programa. (DeVry University, s.f.).

3.4. Tecnología de medios externos

Las tecnologías de medios externos son sistemas que permiten la interacción de un ordenador con el entorno físico. Consisten en una variedad de sensores y técnicas de procesamiento.

3.4.1. Tecnologías de voz

Las tecnologías de voz son aquellas que permiten el procesamiento, el reconocimiento y la generación del lenguaje hablado. Estas pueden ser tanto de entrada, salida o procesamiento del habla humana (UpBe.ai, s.f.).

El ASR (*Automatic Speech Recognition*), o reconocimiento automático del habla, es una tecnología que convierte la voz hablada en texto escrito. Funciona con un modelo acústico de inteligencia artificial, el cual analiza el audio y convierte las ondas de sonido grabadas en texto según la forma y tamaño de las ondas. Un ejemplo de un ASR es la biblioteca de Python vosk. Esta consiste de múltiples modelos de tamaño e idioma variados, que se pueden utilizar en programas escritos en Python (IBM, s.f.).

El TTS (*Text To Speech*), o sistema de síntesis del habla, al contrario que el ASR, convierte el texto en audio hablado. Este proceso es más sencillo, ya que solo es necesaria la grabación de un audio de cada fonema o palabra del idioma. Cuando se desea generar el audio, se analiza el texto y se reproduce el audio relativo a él (IBM, s.f.).

3.4.2. Análisis de imagen

El análisis de imagen es una rama de la inteligencia artificial que entrena una red neuronal para el reconocimiento de imágenes para que estas puedan interpretar información visual. Este campo es conocido como visión por ordenador. Las redes neuronales se entrenan con técnicas de aprendizaje profundo para analizar estas imágenes capturadas con sensores visuales como cámaras (visionporcomputador.es, s.f.).

4.Metodología

4.1. Visión global

El objetivo principal de este proyecto fue el diseño y desarrollo de un asistente docente con inteligencia artificial que asistiera al docente en la enseñanza de conceptos avanzados en la educación secundaria. Este proceso se dividió en varias fases clave: diseño y construcción del robot, programación de sus funciones y prueba del robot en el aula.

4.1.1. Diseño y construcción del robot

El desarrollo del robot comenzó con la elección de los componentes adecuados para sus funcionalidades. Se optó por la Raspberry Pi 5 como unidad central de procesamiento debido a su capacidad para integrar funciones de reconocimiento de voz, visión y síntesis de voz. La estructura física del robot fue diseñada utilizando el software Autodesk Fusion, y las piezas fueron fabricadas mediante impresión 3D y corte láser en madera. La cabeza del robot fue diseñada para albergar micrófonos y una cámara, mientras que el cuerpo contenía los componentes electrónicos esenciales.

4.1.2. Programación del robot

La programación se llevó a cabo en Python, utilizando bibliotecas específicas para tareas como el reconocimiento de voz (Vosk), la conversión de texto a voz (Piper-TTS) y la interacción con una inteligencia artificial (Gemini). Estas funciones permiten al robot comprender preguntas orales y responder en lenguaje natural, creando una experiencia interactiva para los estudiantes. Además, el robot fue programado para capturar imágenes y generar respuestas basadas en las entradas de los usuarios.

Utiliza un sistema de sensores auditivos y visuales para recoger información sobre las cuestiones o dudas que pueda tener el alumnado. Estos datos se procesan con una inteligencia artificial de tipo Gran Modelo de Lenguaje (*Large Language Model* en inglés) de fuente exterior, y se exterioriza una respuesta mediante un altavoz diseñada para proporcionar ayuda en el ámbito académico.

4.1.3. Pruebas del robot en el aula

Una vez ensamblado el robot y programadas sus funcionalidades, se introdujo en el aula como asistente docente. Durante las pruebas, el robot fue utilizado para enseñar conceptos como la resolución de ecuaciones y problemas de cinemática, permitiendo evaluar su eficacia como herramienta educativa. Estas pruebas fueron fundamentales para identificar áreas de mejora, especialmente en términos de la interacción con los estudiantes y la calidad de la vocalización del robot.

4.1.4. Evaluación y ajustes

Tras las pruebas de campo, se recogieron comentarios del alumnado y del profesorado para evaluar la eficacia del robot en el aula. Los resultados de la evaluación permitieron realizar algunos ajustes en la vocalización del robot, mejorando su desempeño como asistente al docente.

4.2. Metodología detallada

4.2.1. Programación del asistente docente

El asistente se programó con el lenguaje Python, debido a su compatibilidad con múltiples bibliotecas y funciones, lo cual permitió la integración de capacidades y funciones variadas del robot. (ver Anexo 1)

4.2.1.1. Bibliotecas utilizadas

Para implementar todas las funciones (grabación de audio, conversión de audio a texto, captura de imágenes, codificación de imágenes, conexión con la inteligencia artificial, conversión de texto a audio y reproducción de audio), se utilizaron varias bibliotecas de Python.

base64: la biblioteca *base64* permite la codificación de una imagen a base 64, un sistema de codificación posicional, para ser comprendida por una inteligencia artificial.

dotenv: la biblioteca *dotenv* permite leer y escribir la información de un archivo de tipo *.env*, un tipo de archivo de texto utilizado para almacenar variables.

json: la biblioteca *json (JavaScript Object Notation)* es un sistema de notación de texto fácilmente legible por humanos y fácil de generar y leer para máquinas.

libcamera: la biblioteca *libcamera* permite funciones de enfoque automático para una cámara.

google.genai: la biblioteca *google.genai* permite la conexión a los modelos generativos de Google, como pueden serlo Gemini 2.0 flash o Gemini 2.5.

os: la biblioteca *os* permite la conexión con el sistema operativo y con los archivos que hay en el ordenador, tanto como para leerlos como para crear, modificar y eliminarlos.

picamera2: la biblioteca *picamera2* permite el manejo de una cámara Raspberry Pi desde el código.

PIL: la biblioteca *PIL (Python Imaging Library)*, permite abrir, manipular y guardar una amplia gama de archivos de imagen como *.png* o *.jpg*.

piper-tts: la biblioteca *piper-tts* es un modelo de texto a voz local (contenido en el sistema) que cuenta con una variedad de voces en múltiples idiomas.

Rpi.GPIO: la biblioteca *Rpi.GPIO* (*General Purpose Input Output*, entrada y salida de propósito general) permite la conexión con los pines multifunción del microordenador.

sounddevice: la biblioteca *sounddevice* permite el uso de *PortAudio*, que sirve para reproducir audio, y maneja el manejo de audio organizado en estructuras de *numpy*.

subprocess: permite el lanzamiento, la edición y la recepción de resultados de procedimientos del sistema.

sys: la biblioteca *sys* permite el manejo del archivo de código, es decir, finalizar o empezar un programa.

threading: la biblioteca *threading* permite tener varias partes del código en funcionamiento de forma simultánea, sin esta biblioteca el código se ejecutaría de forma lineal, sin procesos en segundo plano.

time: la biblioteca *time* permite la introducción de tiempos de espera en el código en los que no se ejecuta ninguna línea de código.

vosk: la biblioteca *vosk* permite el uso de los modelos y los archivos *vosk* para el análisis de audio y su conversión a texto.

wave: la biblioteca *wave* permite la escritura y la lectura de archivos *.wav*, uno de los formatos de archivo de audio más extendidos.

Estas bibliotecas son necesarias para la creación y la ejecución del código, ya que permiten la funcionalidad en elementos y áreas del ordenador ajenos al código. Las bibliotecas *threading* y *Rpi.GPIO* permiten la conexión de sensores y otros elementos a la Raspberry Pi, y la monitorización de elementos como pulsadores y micrófonos de forma simultánea a la ejecución de otras partes del código. Las bibliotecas *wave*, *os* y *subprocess* permiten grabar un audio con el sistema de grabación del sistema y guardarlo como un archivo *.wav*. Las bibliotecas *vosk* y *json* permiten la conversión de un audio en texto y la lectura correcta del texto resultante. Las bibliotecas *picamera2*, *PIL*, *base64* y *libcamera* junto con os permiten la captura de una imagen, su almacenaje en un archivo y su conversión al formato base 64. La biblioteca *google-genai* permite el envío de texto e imágenes codificadas a los modelos de inteligencia artificial de Gemini, y la generación de una respuesta de éstos. Los modelos *os* y *Rpi.GPIO* se utiliza además para la conversión de texto en audio mediante procesos del sistema y su transmisión mediante altavoces conectados a los pines multifunción.

4.2.1.2. El código

El código está dividido en 3 partes fundamentales: la carga de archivos y bibliotecas necesarias, la definición de funciones y configuraciones para su uso en el código y la conversación con una inteligencia artificial utilizando las funciones. Durante las pruebas de campo se realizó una remodelación, resultando en dos funciones nuevas y una lógica de manejo de audio ligeramente distinta.

Carga de archivos y bibliotecas necesarias

En la primera parte del código, de líneas 1 a 45, se cargan las bibliotecas necesarias mediante el comando import y la llave API de Google de forma segura y privada.

Definición de funciones y configuraciones para su uso en el código

En la segunda parte del código, de líneas 46 a 270, se definen 9 funciones distintas para su uso eficiente en la tercera parte del código. Para ejecutar una función definida, no es necesario volver a utilizar el código de esa función en su totalidad. Se utiliza un comando personalizado para ejecutar la función de una vez, resultando en un código más limpio y claro.

Antes de las funciones del uso original del robot, se enumerarán las nuevas que se incorporaron en la remodelación, debido a la naturaleza de estas como incorporaciones posteriores.

La primera función nueva es *altavoz_con_hat()*. Esta función se incorporó para la resolución de un error. El error surgió de forma inesperada tras el cambio a la función *texto_a_voz()* y redirigía la salida de audio al puerto HDMI en vez de a la HAT. Esta función realiza una búsqueda entre todos los puertos de audio existentes y compara cada uno con el nombre de la HAT *(seeed2micvoicec)*, devolviendo el número de puerto de audio para su uso en la segunda función nueva.

La segunda función incorporada posterior a las primeras pruebas es *reproducir_audio()*. Esta función utiliza la biblioteca *sounddevice* para generar y dar forma al archivo *.wav* que después reproduce por el canal de audio encontrado con la función anterior.

A continuación, se enumerarán las funciones originales, que se utilizaron tanto antes como después de la remodelación.

La primera función definida es *texto_a_voz()*. Esta función utiliza el proceso de sistema *espeak* para convertir un texto guardado en una variable en un audio *.wav* con unos parámetros de idioma, velocidad, espaciado entre palabras, tono y volumen, y el proceso de sistema *aplay* para reproducirlo. Tras la reforma, se cambió la lógica de esta función. Aunque se mantuvo el uso de *espeak* para el manejo de texto y fonemas, el paso de texto a voz se realizó con un modelo de *piper-tts* y el audio se envió a *reproducir_audio()* para su manejo correcto.

La segunda función es *monitor_boton()*, que permite recoger información de la pulsación del botón para ejecutar las funciones *iniciar_grabacion()* y *parar_grabacion*, explicadas a continuación.

La tercera función es *iniciar_grabacion()*. Esta función empieza a grabar un audio con la función de sistema *arecord* y la transcribe en un archivo de audio *.wav*.

La cuarta función es *detener_grabacion()*. Esta función detiene la grabación empezada con *iniciar_grabacion()*.

La quinta función definida es *transcribe_audio_vosk()*. Esta función corta el audio en paquetes y los transforma en texto mediante el modelo de *vosk*. Añade el texto transcrito a una biblioteca de variables que luego constituye la transcripción final.

La sexta función es *tomar_foto()*. Esta función utiliza las bibliotecas *picamera2* y *libcamera* para enfocar con la cámara y capturar una foto, y *PIL* para guardarla como un archivo *.jpg*.

La séptima y última función es *codificacion_imagen()*. Esta función utiliza la biblioteca Base64 para codificar la imagen en formato base 64, para su comprensión posterior por la inteligencia artificial.

Conversación con una inteligencia artificial utilizando las funciones.

En la tercera parte del código, de líneas 270 a 406, se utilizan estas funciones para generar una conversación con la inteligencia artificial. Se utiliza la función *monitor_boton()* y cuando el botón es pulsado, *iniciar_grabación()*. Cuando empieza a grabar el audio del usuario, el robot dice "Te escucho" con la función *texto_a_voz()*. Cuando se vuelve a pulsar, se ejecuta *parar_grabacion()* y empieza *transcribe_audio_vosk()*. De forma simultánea, el robot utiliza *texto_a_voz()* para decir "Un momento, por favor". Cuando se ha generado el texto del audio, se crea una conversación con el modelo de Gemini, la cual está definida por instrucciones escritas en otro documento: *Descripción_actitud_robot.txt*. El texto transcrito por *transcribe_audio_vosk()* es analizado y enviado al modelo. En caso de que el texto incluya la palabra "foto", se ejecutan las funciones *tomar_foto()* y *codificación_imagen()*, y la imagen codificada se envia al modelo junto al texto, tras lo cual el modelo genera una respuesta. Esta respuesta es introducida en la función *texto_a_voz()*, que lo reproduce como audio.

Todo el texto generado es escrito en la terminal de editor del código, de tal forma que se ven todos los textos transcritos, generados y reproducidos en forma de diálogo, utilizando el comando *print()*.

Cuando este proceso termina, se restablecen las variables y se repite el proceso tantas veces como requiera el usuario, hasta que el texto transcrito por *transcribe_audio_vosk()* contenga las palabras "adiós", "hasta luego", "chao", "desactivar" o "apagar", tras lo cual *texto_a_voz()* reproducirá "Ha sido un placer. Hasta luego.", y finalizará el código.

4.2.1.3. Remodelado durante las pruebas

Tras la segunda prueba de campo en el alumnado, se realizaron unos cambios en el código del robot para mejorar la vocalización de éste, haciendo unos cambios clave en el uso de bibliotecas y en el manejo del audio.

En primer lugar, se traspasó el manejo de la generación de audio en base a texto desde la biblioteca *aplay* a *piper-tts*. Para esto, se creó una nueva función *reproducir_audio()*. Al igual que el sistema antiguo, *espeak* convertía el texto a fonemas, con la diferencia de que el audio lo generaba *piper-tts*, un modelo mucho más natural y menos robótico que *aplay*.

En segundo lugar, se añadió código para solucionar un error en la detección del audio a través de los pines GPIO, en el que tomaba preferencia el puerto HDMI. Los efectos que tenía en el código era la negación del audio reprodu-

cido por el robot, ya que redirigía la salida destinada para la HAT hacia un puerto HDMI. Para solucionar esto, se incorporó un código de búsqueda de salidas de audio, el cual se llamó *altavoz_con_hat()*. El funcionamiento de este código era el siguiente:

Primero, buscaba todos los canales de salida de audio disponibles. A continuación, los comparaba con el nombre de la HAT conectada a la Raspberry Pi (guardado en la variable *nombre*), pasando hasta encontrar el canal con el mismo nombre. Una vez encontrado el canal, obtenía el número de canal de audio y lo guardaba en una variable para su uso posterior en el paso de texto a voz. Se desconoce la causa del error, por lo que se tuvo que solucionar tras su aparición con código.

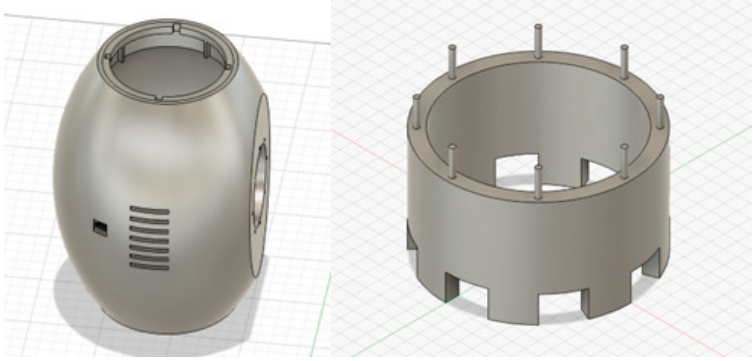
Todos los cambios se hicieron dentro del módulo del manejo del audio, por lo que no afectó la funcionalidad del robot.

4.2.2. Modelado del diseño tridimensional

El diseño consiste en 2 partes, una impresa con una impresora de filamento tridimensional, y otra cortada en madera por láser (Anexo 2).

El diseño de impresión está formado por 3 partes distintas: la cabeza, la tapa de la cabeza y el cuello, según su función.

La cabeza es la parte superior del robot, con una forma ovalada y dos aperturas. Una de las aperturas es para la conexión con la pieza del cuello, y la otra para el manejo de los componentes en su interior, que está cubierta por la tapa. Además de estas aberturas, cuenta con 7 ranuras rectangulares paralelas para facilitar la recepción de audio, y una apertura cuadrada para permitir la recepción de imágenes mediante la cámara.



Figuras 6 y 7: Representaciones digitales de las piezas de la cabeza y del cuello del robot. Fuente: elaboración propia utilizando la herramienta Autodesk Fusion.

El cuello tiene forma de cilindro hueco, con varios salientes para la conexión con la cabeza y la caja inferior de corte láser.

La tapa de la cabeza tiene forma circular con un grosor muy pequeño y tiene salientes para facilitar su ensamblaje con la cabeza.

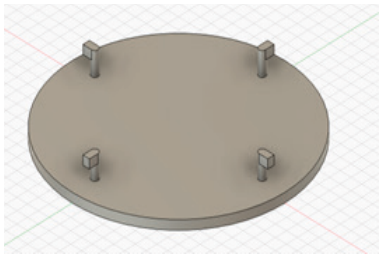


Figura 8: Representación digital de la pieza de la tapa de la cabeza del robot. Fuente: elaboración propia utilizando la herramienta Autodesk Fusion.

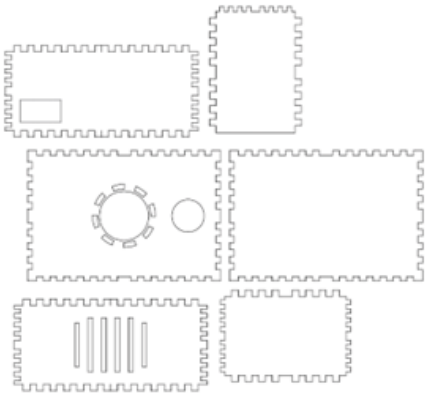


Figura 9: planos bidimensionales de la caja para el recorrido del láser. Fuente: elaboración propia.

El diseño de corte láser consiste en 6 planchas de madera (ver figura 9) que forman un prisma rectangular una vez ensambladas, y varios soportes para los elementos de su interior, además de aperturas y salientes para su ensamblaje, y algunas aperturas donde sean necesarias para las conexiones eléctricas y la colocación del botón.

4.2.3. Montaje del robot

El robot consiste en 5 elementos fundamentales unidos por conexiones o cables, los cuales permiten la comunicación de información entre los componentes y su correcto funcionamiento.

El primero es un microordenador Raspberry Pi 5, que funciona como unidad de procesamiento y cálculo del robot.

El segundo componente es una placa integrada ReSpeaker 2-mic Pi HAT. Esta cuenta con 2 micrófonos y un puerto de sonido de 3.5mm. Su conexión con el microordenador es por cable, unido a los pines GPIO del Raspberry Pi 5.

El tercer componente es un altavoz compacto. Su conexión es a la Pi HAT por cable, unido al puerto de 3.5mm.

El cuarto componente está conectado a uno de los puertos MIPI del microordenador, y es una cámara Raspberry Pi module 3.

Por último, el quinto componente es un pulsador de botón, cuya conexión es mediante cable a los pines GPIO, con el uso de una placa de prototipos para su sujeción y la facilidad de su conexión.

Todos estos componentes funcionan de forma conjunta para ejecutar el programa de código Python.

5. Experimentación y recogida de datos

En una fase inicial se hicieron pruebas piloto para comprobar su funcionamiento antes de introducirlo en las clases. En total se probó con 9 individuos (entre 12 y 50 años).

Para la recogida de datos, se introdujo al robot en 6 clases distintas de Matemáticas o de Física y Química, de acuerdo con el enfoque del robot hacia las asignaturas de ciencias. Se realizaron 7 pruebas a lo largo de 2 semanas. Después de la segunda prueba, hubo un remodelado ligero de la voz del robot debido a las peticiones de los alumnos, quienes lo encontraron difícil de entender. No se modificó el código del funcionamiento de otra forma que no fuera para cambiar el módulo de habla del robot para así mantener la igualdad y objetividad de las pruebas. Cabe mencionar que hubo una variación en las respuestas del alumnado, en concreto en la cuarta "¿En qué crees que podría mejorar?". Antes de la mejora (entre los primeros 34 alumnos), no hubo constancia de la respuesta "Nada", mientras que después se dio de forma habitual (en los últimos 90).

5.1. Formato de las pruebas

Se introdujo el robot en una clase de 55min con alumnos de nivel variado dentro de la Educación Secundaria y Bachillerato. Se animó a los alumnos a realizar la clase de forma normal y a utilizar el robot cuando les surgieran dudas. Tras 50min de clase, se repartió un cuestionario entre los alumnos con preguntas sobre el uso del robot, su accesibilidad y la ayuda en las cuestiones escolares.

Los alumnos realizaron preguntas al robot de temática variada relacionada con el contenido de la asignatura. Entre las preguntas figuraban algunos ejemplos como la fórmula del área de una figura tridimensional o el método de factorización de un número para un mínimo común múltiplo. Además, se le pidieran tareas como que dictara un ejercicio a un profesor tras realizar una foto del libro de texto. El robot resolvió todas las peticiones con éxito.

5.2. Cuestionario del alumnado

Para las pruebas de campo, se diseñó un cuestionario para la recogida de datos tras la clase con el robot (ver Anexo 3). Este consistía en 9 preguntas, 8 de elección y una de respuesta libre. Las primeras 3 preguntas, de elección entre categorías entre 1 y 5, evaluaban la eficiencia y la adecuación del robot. La cuarta pregunta, de respuesta libre, recogía información para la mejora futura del robot. La quinta evaluaba si el robot había proporcionado ayuda, con un subapartado de control de respuesta libre. Las preguntas 6 y 7 servían para analizar la amenidad del ambiente con el robot, ya que se buscaba propulsar este factor en las clases. Por último, las preguntas 8 y 9 preguntaban por la percepción del alumnado del robot, de su eficiencia y su grado de satisfacción con el mismo. Los cuestionarios se repartieron en las clases y se realizaron de forma anónima para preservar la objetividad de las respuestas.

5.2.1. Análisis estadístico

Los datos de los formularios de los alumnos, que se habían recogido en papel, fueron pasados a tablas en Microsoft Excel para poder generar tablas de porcentajes, los cuales se usarían en el análisis estadístico.

Se calculó el porcentaje de alumnos de cada clase que contestaron cada opción en todas las preguntas. A continuación, se calculó la media del porcentaje de cada respuesta de cada clase para el análisis estadístico, de esta forma todas las clases tienen el mismo peso en el análisis. Para realizar el análisis estadístico, se utilizó el programa de software GraphPad Prism 10.

Debido a este formato de medias de porcentajes, se aplicaron técnicas estadísticas de cálculo de medias.

5.2.2. Elección del análisis correcto

Para la elección del análisis estadístico adecuado se aplicó una metodología conocida cómo árbol de decisión

(Statology, s.f.). En primer lugar, se clasifica las variables, variables con sólo dos grupos a comparar (respuestas de sí o no) y variables con más de dos grupos (categorías de respuestas de 1 a 5). En segundo lugar, se hizo un análisis de normalidad, el cual mostraba si las preguntas a evaluar seguían una distribución normal. Finalmente, en el tercer paso, se selecciona el análisis que se ajusta a nuestra variable y a su distribución. Esta selección seguía el formato de la tabla en la tabla 1.

Análisis de datos de dos grupos (2 respuestas, Sí o No)		
Prueba de distribución normal	Sí sigue una distribución normal. Prueba t-student no pareada.	
	No sigue una distribución normal. Prueba de Mann-Whitney.	
Análisis de datos de más de dos grupos (más categorías de respuestas).		
Prueba de distribución normal	Sí sigue una distribución normal. Prueba ANOVA unidireccional.	Prueba posterior de Dunnett (comparación con el grupo de control).
	No sigue una distribución normal. Prueba de Kruskal Wallis.	Prueba post hoc de Dunn (comparación con el grupo de control).

Tabla 1: Árbol de decisión para la selección de método de análisis estadístico. Fuente: elaboración propia.

Para el análisis estadístico, se consideró un valor de $P<0,05$ cómo estadísticamente significativo. En las gráficas y tablas de resultados se representan (ns: no significativo, * $p<0,05$, ** $p<0,01$, *** $p<0,001$, **** $p<0,0001$).

5.3. Cuestionario del profesorado

Se diseñó un cuestionario para los profesores para evaluar el grado de aceptación y satisfacción del robot como asistente educativo. Tras la realización de las pruebas en sus clases, se distribuyó un cuestionario mediante Google Forms (ver Anexo 4). En este formulario, figuraban preguntas dirigidas hacia un análisis de la eficiencia y adecuación del robot. Al igual que el formulario de los alumnos, este cuestionario era anónimo para preservar la objetividad. De estos resultados no se realizará un análisis estadístico debido al tamaño de la prueba y la naturaleza de las preguntas.

5.4. Pruebas del robot

De las 6 clases con las que se probó el robot, una pudo repetir la prueba tras la mejora para evaluar la eficiencia de esta. En las pruebas, todos los alumnos estuvieron presentes en las diferentes interacciones con el robot, pero sólo un número determinado de voluntarios salieron a hacer las preguntas pertinentes, pero todos los alumnos presentes pudieron evaluar el funcionamiento del robot.

Se realizó la primera prueba con una clase de Refuerzo de Matemáticas de 1º de ESO que constaba de 11 alumnos, de los cuales 3 voluntarios (el 27,3%) tuvieron interacción directa con el robot (le hicieron preguntas sobre sus dudas).

La segunda prueba se realizó en una clase de 1º de Bachillerato de 23 alumnos de Matemáticas, donde un voluntario tuvo interacción directa con el robot (3,7% de la clase).

La tercera prueba fue en una clase de 1º de ESO de Matemáticas, tras la remodelación del robot. Se realizó sobre 24 alumnos, de los cuales 4 voluntarios preguntaron dudas al robot 4 (16,7%).

En la cuarta prueba, se repitió la clase de 1º de ESO de Refuerzo de Matemáticas de la primera prueba. Debido a la asistencia del alumnado, la muestra se redució de 11 alumnos a 10. Sin embargo, 7 alumnos salieron voluntarios para las pruebas, un 70,0%. Debido a la naturaleza de esta prueba, de comparación entre versiones del robot, no se contó para el análisis estadístico.

En la quinta prueba, se probó con 24 alumnos de 3º de ESO en su clase de Matemáticas, de los cuales 3 (12,5%) salieron como voluntarios.

En la penúltima prueba, se probó con una clase de 20 alumnos de 2º de ESO de Matemáticas. De estos, participaron 8, el 40,0%, salieron cómo voluntarios para preguntar al robot.

La última prueba se realizó en una clase de Física y Química de 3º de ESO, que consistía en 22 alumnos. 7 alumnos, consistiendo en el 31,8%, interactuaron directamente con el robot.

6. Resultados y discusión

6.1. Robot

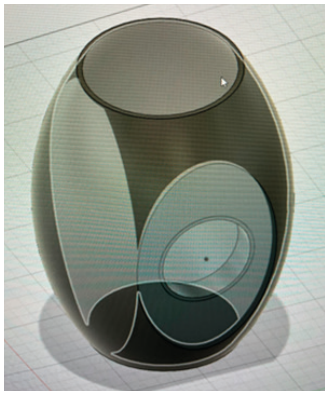
El primer objetivo de este trabajo era construir un robot. La fase experimental duró varios meses y se hizo en diferentes fases.

En primer lugar, se programó el código en un microordenador Raspberry Pi. Este paso sufrió un leve retraso debido a un fallo en el hardware utilizada inicialmente, tras lo cual se tuvo que sustituir para continuar con la creación del robot.



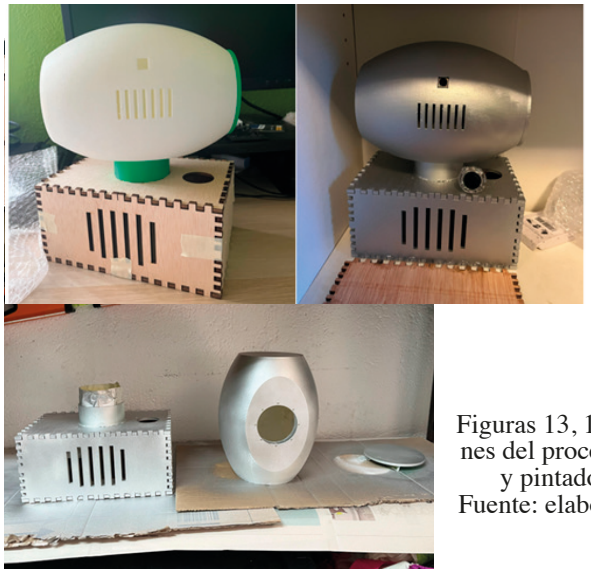
Figura 10: Construcción electrónica utilizada durante la programación del robot, antes de su implementación en el modelo.
Fuente: elaboración propia.



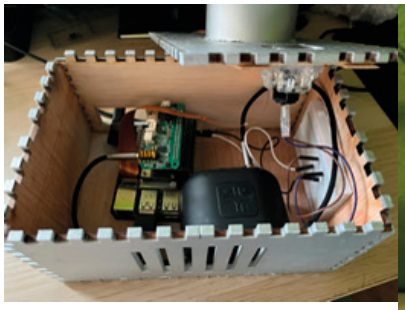


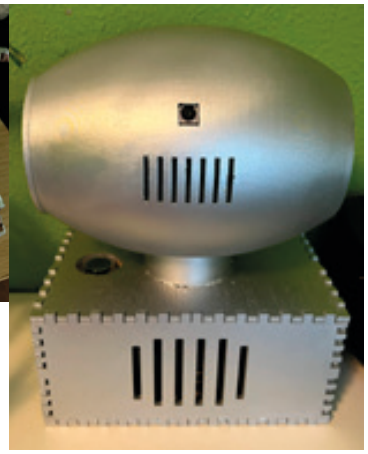
Figuras 11 y 12: Imágenes del proceso de diseño del modelo.
Fuente: elaboración propia.

En paralelo a esto, se diseñó un modelo tridimensional para su fabricación, ajustada a los componentes del robot y pensada para optimizar el uso de este (ver Anexo 2).



Figuras 13, 14 y 15: Imágenes del proceso de montaje y pintado del robot.
Fuente: elaboración propia.





Figuras 16 y 17: Imágenes del robot finalizado.
Fuente: elaboración propia.

Tras la finalización del código y la fabricación de las piezas, se procedió con el montaje del robot. Las piezas se ensamblaron utilizando un adhesivo basado en silicona. Se continuó con el procesado estético del robot. Para un final agradable, se pintó de forma uniforme con pintura plateada, dándole varias capas de pintura en aerosol a lo largo de varios días.

Este proceso dio como resultado un robot funcional y estético, preparado para las pruebas en clases. Se le bautizó como Roboprofe y se le dieron instrucciones de comportamiento.

6.2. Pruebas preliminares

Se realizaron pruebas con personas de diferentes perfiles sobre temas variados antes de la incorporación en clases, para comprobar si el robot era funcional, y proporcionaba los resultados esperados.

Las conclusiones de estas pruebas eran:

- El robot es capaz de comprender palabras de diferentes usuarios, generar una respuesta coherente a sus preguntas, y mantener una conversación sobre temas escolares.
- La velocidad se ajustó para permitir mayor fluidez en la conversación.
- Se incorporó una función de botón para facilitar el comienzo de la conversación con el robot.

A continuación, se encuentran algunos ejemplos de uso:

Niña de 12 años: se preguntó al robot sobre ecuaciones y el robot supo responder de forma coherente y proporcionar ayuda en una conversación.

Joven de 16 años: preguntó al robot sobre matrices. El robot supo explicar la teoría y ayudó a llevarla a la práctica. El joven pudo completar un ejercicio básico de matrices.

Adulto de 49 años: preguntó al robot sobre temas variados, como la teoría de la relatividad y las matrices. El robot supo explicar de forma breve la teoría y la práctica de estos temas.

Joven de 16 años: pidió al robot que se presentara. El robot pudo hacerlo de forma coherente y mantuvo una conversación con la joven.

Extranjero británico de mediana edad con acento fuerte: el robot entendió las instrucciones que se le daban y ayudó a resolver una ecuación de segundo grado.

Joven de 18 años: se le pidió ayuda al robot para resolver una integral. El robot entendió de forma correcta el mensaje y explicó de forma correcta el método. El joven pudo completar el ejercicio, tras lo cual el robot se lo corrigió, comprobando que el resultado era incorrecto. Tras una explicación, el joven pudo terminar el ejercicio de forma correcta, informándole de la solución al robot, que la dio por correcta.

Adulto de 49 años: preguntó al robot cómo resolver ecuaciones de segundo grado. El robot le explicó la fórmula de las ecuaciones cuadráticas, tras lo cual el sujeto preguntó si existían otras formas de resolverlas. El robot explicó el método de la factorización con pasos detallados para utilizarlo.

Joven de 14 años: le preguntó al robot sobre un tema fuera del ámbito académico. El robot le contestó que no podía hablar sobre ese tema, y le preguntó si necesitaba ayuda con algún ejercicio. Tras ser preguntado, el robot explicó que su función era la asistencia docente, y no podía hablar sobre temas fuera de este ámbito.

6.3. Formularios de los alumnos

El robot se probó en 6 clases diferentes con un total 124 alumnos, de los cuales el 100% contestaron al cuestionario. Para que todas las clases tuvieran la misma representación en el análisis se calculó la media por clases y luego la media total. 8 de las 9 preguntas de las que consistía el formulario pudieron ser analizadas estadísticamente (ver el análisis completo en Anexo 5).

Cuando los alumnos tenían preguntas,

6.3.1. Respuestas de los alumnos

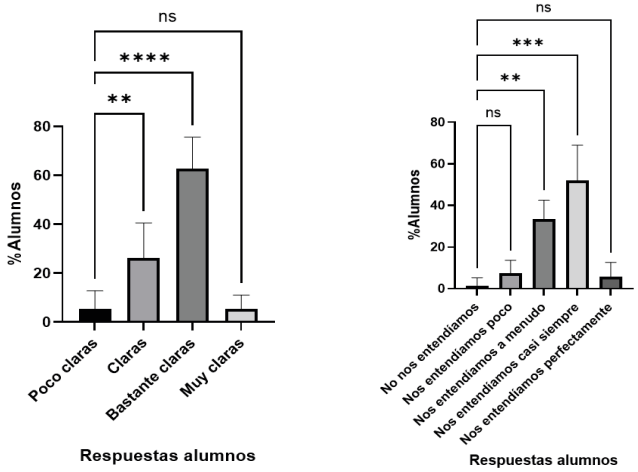
En tu opinión, ¿cómo han sido las explicaciones del robot? Marca una casilla.	Muy poco claras	Poco claras	Claras	Bastante claras	Muy claras
% de alumnos	0.00	5.45	26.31	62.83	5.40
p	Excluído	Referencia	0.0079 (**)	<0.0001 (****)	ns.
Prueba estadística	ANOVA unidireccional.				
¿Cómo ha sido la comunicación con el robot? Marca una casilla.	**No nos entendíamos**	**Nos entendíamos poco**	**Nos entendíamos a menudo**	**Nos entendíamos casi siempre**	**Nos entendíamos perfectamente**
% de alumnos	1.52	7.46	33.30	51.98	5.74
p	Referencia	ns.	0.0063 (**)	0.0003 (***)	ns.
Prueba estadística	Kruskal-Wallis				
¿Crees que el robot podría mejorar? Marca una casilla.	**Muy mejorable**	**Bastantes cosas que mejorar**	**Mejorable**	**Poco que mejorar**	**No es mejorable**
% de alumnos	1.52	0.83	21.77	70.63	5.25
p	Referencia	ns.	ns.	0.0007 (***)	ns.
Prueba estadística	Kruskal-Wallis				
¿Crees que las explicaciones del robot te han ayudado a entender mejor algún concepto?	**No**		**Sí**		
% de alumnos	8.54		91.46		
p	Referencia		<0.0001(****)		
Prueba estadística	Prueba t-student no pareada				
¿La clase se ha parecido a tu expectativa?	**No**		**Sí**		
% de alumnos	16.57		83.43		
	Referencia		<0.0001(****)		
Prueba estadística	Prueba t-student no pareada				
En el caso de haber contestado no en la anterior, ¿ha sido mejor o peor? a. Mejor b. Peor	**Peor**		**Mejor**		
% de alumnos	1.04		98.96		
p	Referencia		0.0022(**)		
Prueba estadística	Mann Whitney test				
¿Te ha gustado dar la clase con el robot? ¿Te gustaría que estuviera en todas las clases ayudando al profesor?	**No**		**Sí**		
% de alumnos	2.36		97.64		
p	Referencia		0.0022(**)		
Prueba estadística	Mann Whitney test				
¿Crees que te ayudaría en el aprendizaje si hubiera un robot así en todas tus clases?	**No**		**Sí**		
% de alumnos	3.75		96.25		
p	Referencia		<0.0001((****)		
Prueba estadística	Prueba t-student no pareada				

Tabla 2: Análisis estadístico de las respuestas de los estudiantes. Fuente: elaboración propia a partir de las tablas de análisis estadístico.

Los porcentajes de las respuestas de los alumnos, el análisis estadístico y el valor de p se encuentran resumidos en la tabla 2. Tal y como se aprecia en la tabla, el robot tuvo una aceptación muy positiva por parte del alumnado y estadísticamente significativa en los parámetros evaluados. En la primera pregunta la primera categoría de respuesta fue excluida del análisis al salir la media de porcentaje 0. Tras el análisis estadístico, se estudiaron los datos y las diferencias significativas donde las había para completar el análisis.

Por lo que respecta a las explicaciones que proporcionaba el robot (pregunta 1), un 62,83% del alumnado las consideró

bastante claras y un 26,31% claras (ver figura 18). En ambos casos la diferencia con respecto al porcentaje de alumnos que no lo entendían fue estadísticamente significativa.



Figuras 18 y 19: representaciones gráficas de la opinión de los alumnos en lo referente a la comunicación. Fuente: elaboración propia con GraphPad.

Además, se evaluó la comunicación (pregunta 2), donde los alumnos respondieron que se entendían casi siempre (51.98%) o a menudo (33.3%), como se puede apreciar en la figura 19.

En ambos casos la diferencia con respecto al porcentaje de alumnos que no lo entendían fue estadísticamente significativa.

Después, en la tercera pregunta, el alumnado consideró que había poco que mejorar (70.63%, ver figura 20). Dentro de las sugerencias para mejorar incluyeron el volumen y la velocidad de la voz, y entender al alumno.

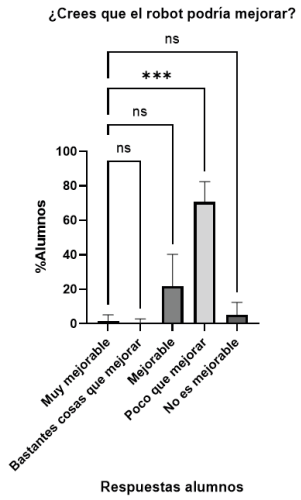


Figura 20: representación gráfica de la opinión del alumnado sobre la posible mejora del robot. Fuente: elaboración propia con GraphPad.

Un 91.46% (ver figura 21) contestó que el robot les había ayudado a clarificar conceptos (pregunta 5).

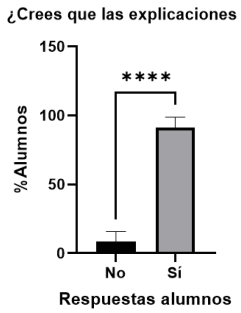
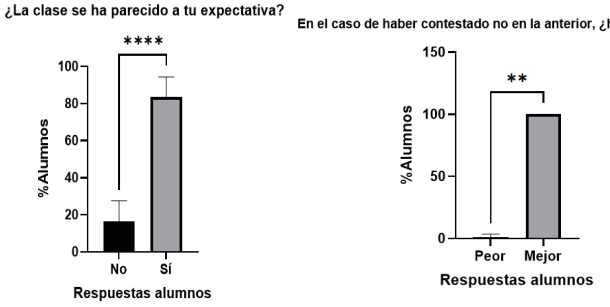


Figura 21: representación gráfica de la opinión del alumnado sobre la ayuda del robot. Fuente: elaboración propia con GraphPad.

La clase en general cumplió las expectativas del alumnado (83.43%, ver figura 22) y de los que contestaron que no había cumplido sus expectativas (pregunta 6), el 98.96% respondieron que las había superado (pregunta 7) como se puede apreciar en la figura 23. En general la mayoría del alumnado (97.64%) considera que le gustaría que hubiese un robot en clase (pregunta 8, ver figura 24) y un 96.25% cree que le ayudaría en el aprendizaje (pregunta 9, ver figura 25).



Figuras 22 y 23: Representación de la opinión de los alumnos con respecto a las expectativas que tenían antes de la clase. Fuente: elaboración propia con GraphPad.

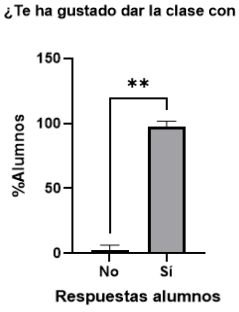


Figura 24: Representación del grado de aceptación de tener en clase un robot. Fuente: elaboración propia con GraphPad.

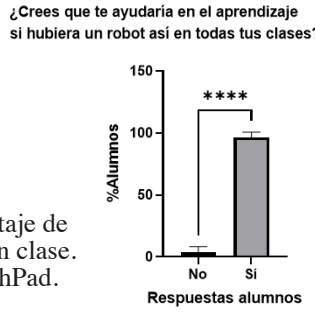


Figura 25: Representación del porcentaje de alumnado que querría tener un robot en clase. Fuente: elaboración propia con GraphPad.

6.3.2. Conclusiones de las respuestas del alumnado

A raíz de las respuestas de los alumnos se puede concluir que un robot en clase como ayudante docente tendría buena aceptación en general en las clases y los alumnos creen que les ayudaría en el aprendizaje.

6.3.3. Resultados de la remodelación de la voz

La remodelación del audio y la voz del robot para aumentar su accesibilidad se dio entre las pruebas 2 y 3. Los alumnos de la primera prueba tuvieron ocasión de repetirla con la nueva versión del robot. Los resultados de la comparación entre pruebas se pueden ver en la tabla 3, donde el grupo 1 es la prueba antes de la remodelación y 1b después.

En la primera pregunta, desapareció la respuesta "Poco claras", pasando estas respuestas a "Claras" una mejoría notable. La respuesta "Poco claras" se redujo de 18,18% a 0,00% y la respuesta Claras aumentó de 18,18% a 36,36%. El resto de las respuestas se mantuvieron.

En la segunda pregunta, disminuyeron las respuestas de "No nos entendíamos" y "Nos entendíamos poco" de 9,09% y 18,18% respectivamente a 0,00% en ambos casos. Las respuestas "Nos entendíamos a menudo" y "Nos entendíamos casi siempre" aumentaron de 36,36% y 27,27% respectivamente a 45,45% en ambos casos.

1. En tu opinión, ¿cómo han sido las explicaciones del robot? Marca una casilla.	Clase	Muy poco claras	Poco claras	Claras	Bastante claras	Muy claras
		1	2	3	4	5
	1	0.00	18.18	18.18	63.64	0.00
	1b	0.00	0.00	36.36	63.64	0.00
2. ¿Cómo ha sido la comunicación con el robot? Marca una casilla.		**No nos entendíamos**	**Nos entendíamos poco**	**Nos entendíamos a menudo**	**Nos entendíamos casi siempre**	**Nos entendíamos perfectamente**
	1	9.09	18.18	36.36	27.27	9.09
	1b	0.00	0.00	45.45	45.45	9.09

Tabla 3: Comparación entre los porcentajes de cada opción que seleccionó el alumnado en las preguntas referentes a la comunicación. La tabla completa se encuentra en el Anexo 5. Fuente: Elaboración propia.

El resto de respuestas se mantuvieron con un margen insignificante, lo cual concuerda con los cambios de robot: éstos solo se dieron en el módulo de voz, por lo que la funcionalidad no cambió.

6.4. Formularios del profesorado

6.4.1. Respuestas de los profesores

La primera pregunta, de elección, era "¿Te ha gustado el robot?" y recibió una respuesta unánime: "Sí". A pesar de su simplicidad, se juzgó necesaria debido a la naturaleza del robot de asistencia al profesorado.

La segunda pregunta fue "¿Cómo has visto la comunicación entre los alumnos y el robot? ¿Crees que se entendían bien?" y era de respuesta libre. Cuatro de las respuestas manifestaron alguna complicación en la comunicación con el robot, resaltando la voz y la agilidad del robot, además del desconocimiento de los alumnos a la hora de elaborar una pregunta. La quinta no mencionaba ninguna dificultad, destacando el gusto de los alumnos por la tecnología.

La tercera pregunta era "¿Crees que si tuvieras un robot así ayudándote a dar la clase cubrirías más temario?" y era de elección ("Sí" o "No"). El 80,0% (4 de 5) de las respuestas fueron "No" con un único "Sí", constituyendo el 20,0% restante.

La cuarta pregunta era "¿Crees que si el robot te ayudara de forma habitual, las clases serían más eficientes a la hora de que los alumnos practiquen y resuelvan ejercicios?". Esta, al igual que la anterior, era de elección entre la afirmativa y negativa, con unos resultados del 80,0% de "Sí" y 20,0% de "No" (4 y 1 respuestas respectivamente).

La quinta pregunta era de respuesta libre "¿Qué problemas has visto con el robot? ¿Crees que tiene mucho que mejorar? Si es así, ¿en qué?". Las respuestas variaban, con el tiempo de respuesta, el volumen y la velocidad de la respuesta. Dos de las respuestas trataban las dificultades del alumnado para realizar las preguntas.

La sexta pregunta, "Dejando de lado los problemas en caso de haberlos, ¿te parece buena idea tener un robot ayudándote a dar la clase, aunque no fuera el que ya has visto, sino una versión mejorada?", obtuvo respuestas positivas, algunas de las cuales resaltaron la utilidad de el manejo simultáneo de dudas o explicaciones en distintos niveles dentro de la clase.

La séptima pregunta era de selección: "¿Crees que el robot te podría quitar carga de trabajo y ayudarte de forma adecuada?". Esta pregunta trataba de forma directa la finalidad del robot: quitarle trabajo al profesorado, y recibió 4 respuestas de "Sí" y una de "No".

6.4.2. Conclusión de las respuestas de los profesores

En base a las respuestas del profesorado, y a pesar del tamaño pequeño de la muestra (ya que solo hay un profesor por clase), se puede observar que a la mayoría sí que creen que el robot les puede ayudar en las partes prácticas de la clase. En las partes teóricas, los docentes no creen que ayudaría en el uso habitual. Esto concuerda con la finalidad del robot, ya que su diseño estaba enfocado en la ayuda a la resolución de problemas dentro del aula. A pesar de esto, queda espacio de mejora en ámbitos como la velocidad o la audibilidad. También es posible una sesión educativa especializada sobre el uso de robots en el aula antes de la implementación de esta herramienta.

7. Conclusiones

Se creó un robot cuya función principal era la ayuda y la asistencia docente. El análisis estadístico de las respuestas del alumnado a los formularios revela la gran aceptación del robot entre el alumnado. Dio los resultados esperados en las preguntas referentes a su accesibilidad, amenidad y eficiencia, demostrando ser una herramienta de gran utilidad y adecuada para el aula. Esto es corroborado por los profesores, quienes creen que el robot les ayudará a dar clases prácticas y a ayudar a los alumnos a resolver ejercicios.

En general el robot ha ayudado a la resolución de dudas de los estudiantes. El robot facilitó la tarea de los profesores y gustó entre alumnos y profesores, provocando así un ambiente ameno y fomentando el trabajo de los alumnos. El robot cumplió con los objetivos propuestos e incluso los superó, y con esto se demuestra la hipótesis.

Para facilitar la comprensión del funcionamiento del robot, se incluye a continuación un vídeo demostrativo accesible mediante enlace (https://drive.google.com/file/d/1P6gkOxHwOnKfSfwUNqcBPKIajJZqE4wH/view?usp=sharing) y código QR (figura 26). En él se muestran las funciones básicas del robot: la interacción con el alumno, la explicación de conceptos básicos, la toma y análisis de fotos (con reconocimiento de funciones oral) y la función de despedida (tras la cual se reinicia el robot).

Figura 26: Código QR de un video demostrativo. Enlace al mismo vídeo: https://drive.google.com/file/d/1P6gkOxHwOnKfSfwUNqcBPKIajJZqE4wH/view?usp=sharing. Fuente: elaboración propia utilizando la herramienta https://staticqrcode.org/.

8. Próximas líneas de investigación

8.1. Mejoras del prototipo

Es posible la mejora del robot basada en las sugerencias del alumnado y los docentes. Esto resultaría en una mejor versión del robot para su potencial uso en aulas.

Se pueden mejorar las capacidades de audio del robot. El uso de una caja de madera sin canales para el paso de audio no es óptimo, debido a las cualidades absorbentes del material y el eco causado por la forma. Se podría mejorar rediseñando este componente del robot en otro material y una forma estudiada para transmitir o aumentar la salida de audio del altavoz de forma correcta.

Se puede mejorar la adaptabilidad del robot con una función que permita el cambio de la velocidad de habla. También se puede fragmentar la respuesta para la exteriorización de ésta mientras se está aún generando, permitiendo menor tiempo de procesado y mayor dinamismo en la conversación. Para aumentar la adaptabilidad, también se puede implementar una monitorización constante y no documentada del entorno, permitiendo un resumen contextual que ayudará en la generación de respuestas, sin que se guarde la información recopilada para evitar violar la privacidad del alumnado. Esto permitiría una comprensión inmediata de los problemas y la propuesta de soluciones por iniciativa del robot, facilitando su uso.

8.2. Estudios posteriores

Se puede expandir en múltiples ámbitos a partir de esta investigación, debido a la diversidad de áreas que trata y la posibilidad de mejora. Son las siguientes:

- Expandir el rango de las pruebas para comprobar si el robot es efectivo en educación infantil o superior.
- Realizar un estudio más detallado específico a cada curso o grupo de estudiantes por edad y localidad.
- Repetir el estudio tras un curso de concienciación e información sobre las tecnologías utilizadas para observar si se da un cambio significativo en los resultados posteriores al curso.

9. Bibliografía

- AFT. (s.f.). Investigación de apoyo sobre el tamaño de las clases. *AFT*. Recuperado el 10 de octubre de 2025 de https://es.aft.org/education/publications/school-improvement/supporting-research-class-size
- UC3M. (s.f.). [Publicación en repositorio digital]. *e-Archivo de la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)*. Recuperado el 07 de octubre de 2025 de https://e-archivo.uc3m.es/entities/publication/977fc91e-ad18-4ce6-b51c-d65e80ca1c7c
- INEE. (2024). Sistema Estatal de Indicadores de la Educación (SEIE) - Edición 2024. *INEE*. Recuperado el 07 de octubre de 2025 de https://inee.educacion.es/2024/12/02/sistema-estatal-de-indicadores-de-la-educacion-seie-edicion-2024/
- Parlamento Europeo. (27/08/2020). ¿Qué es la inteligencia artificial y cómo se usa?. *Parlamento Europeo*. Recuperado el 26 de marzo de 2025 de https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20200827STO85804/que-es-la-inteligencia-artificial-y-como-se-usa
- Universidad UNIE. (s.f.). Qué son las Redes Neuronales. *Universidad UNIE*. Recuperado el 15 de abril de 2025 de https://www.universidadunie.com/blog/que-son-redes-neuronales
- EITCA.org. (s.f.). Explain Weights and Biases. *EITCA*. Recuperado el 14 de abril de 2025 de https://es.eitca.org/artificial-intelligence/eitc-ai-gcml-google-cloud-machine-learning/introduction/what-is-machine-learning/explain-weights-and-biases/
- CEI. (s.f.). Redes Neuronales. *CEI*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://cei.es/redes-neuronales/
- IBM. (s.f.). Redes neuronales. *IBM Think*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://www.ibm.com/es-es/think/topics/neural-networks
- EHU. (s.f.). Libro del curso de Redes Neuronales [PDF]. *OCW EHU/UPV*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/40137/mod_resource/content/1/redes_neuro/contenidos/pdf/libro-del-curso.pdf
- IBM. (s.f.). Redes neuronales convolucionales. *IBM Think*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://www.ibm.com/es-es/think/topics/convolutional-neural-networks
- IBM. (s.f.). Redes neuronales recurrentes. *IBM Think*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://www.ibm.com/es-es/think/topics/recurrent-neural-networks
- AWS. (s.f.). Redes generativas antagónicas (GAN). *AWS*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://aws.amazon.com/es/what-is/gan/
- AWS. (s.f.). Redes neuronales. *AWS*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://aws.amazon.com/es/what-is/neural-network/
- Matich. (s.f.). Redes Neuronales [Monografía/PDF]. *UTN FRRo*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/orientadora1/monograias/matich-redesneuronales.pdf
- OpenAI Community. (s.f.). ¿Cuál es el tamaño del conjunto de entrenamiento para GPT-3?. *OpenAI Community Forum*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://community.openai.com/t/what-is-the-size-of-the-training-set-for-gpt-3/360896
- datos.gob.es. (s.f.). Cómo aprenden las máquinas: Machine Learning y sus diferentes tipos. *datos.gob.es*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://datos.gob.es/es/blog/como-aprenden-las-maquinas-machine-learning-y-sus-diferentes-tipos
- INESDI. (s.f.). ¿Qué es el aprendizaje no supervisado?. *INESDI Digital Business School*. Recuperado el 29 de septiembre de 2025 de https://www.inesdi.com/blog/que-es-aprendizaje-no-supervisado/
- IBM. (s.f.). Aprendizaje profundo (Deep Learning). *IBM Think*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://www.ibm.com/es-es/think/topics/deep-learning
- UNIR. (s.f.). Máster Universitario en Inteligencia Artificial aplicada a Procesos Industriales y de Manufactura. *UNIR*. Recuperado el 22 de septiembre de 2025 de https://www.unir.net/ingenieria/master-inteligencia-artificial-procesos-industriales-manufactura/
- Goldman Sachs. (27/03/2023). Informe de Investigación. *GSPublishing*. Recuperado el 29 de septiembre de 2025 de https://www.gspublishing.com/content/research/en/reports/2023/03/27/d64e052b-0f6e-45d7-967b-d7be35fabd16.html
- Empantallados. (s.f.). IA. *Empantallados*. Recuperado el 22 de septiembre de 2025 de https://empantallados.com/ia/
- INTEF. (s.f.). Jornada IA en Educación. *INTEF*. Recuperado el 22 de septiembre de 2025 de https://intef.es/Noticias/jornada-ia-en-educacion/
- ACTA. (s.f.). Microordenador. *ACTA*. Recuperado el 29 de septiembre de 2025 de https://www.acta.es/recursos/glosarios-especializados/glosarios-trilinguees/73190-microordenador
- RAING. (s.f.). Microordenador. *Diccionario Nuevo*. Recuperado el 23 de septiembre de 2025 de https://diccionario-nuevo.raing.es/es/lema/microordenador
- Solectroshop. (s.f.). 5 pines GPIO y su programación. *Solectroshop*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://solectroshop.com/es/content/60-5-pines-gpio-y-su-programacion?srsltid=AfmBOorMtVi8RdMHx5140P_UNKeC_RUotVex7jAB8p3SvF9A9mFlnZ4c
- Raspberry Pi. (s.f.). Acerca de Raspberry Pi. *Raspberry Pi*. Recuperado el 23 de septiembre de 2025 de https://www.raspberrypi.com/about/

- Raspberry Pi. (s.f.). Raspberry Pi 5. *Raspberry Pi*. Recuperado el 23 de septiembre de 2025 de https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-5/
- Raspberry Pi. (s.f.). Raspberry Pi [Documentación]. *Raspberry Pi*. Recuperado el 23 de septiembre de 2025 de https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html
- Seeed Studio. (s.f.). ReSpeaker 2-Mics Pi HAT. *Seeed Studio*. Recuperado el 23 de septiembre de 2025 de https://www.seeedstudio.com/ReSpeaker-2-Mics-Pi-HAT.html?srsltid=AfmBOoqKSYTZUs2Niyl4lZA-YOe8tNXWdxeOaz7D-h6XMPkkGcFb5ZKCh
- Universidad Europea. (s.f.). Lenguajes de programación. *Universidad Europea*. Recuperado el 23 de septiembre de 2025 de https://universidadeuropea.com/blog/lenguajes-programacion/
- Ayuntamiento de Alfafar. (2014). Glosario TIC Alfafar [PDF]. *Ayuntamiento de Alfafar*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://www.alfafar.es/wp-content/uploads/2014/11/Glosario_TIC_Alfafar.pdf
- UNAM/FCA. (1998). Apuntes de Informática [PDF]. *UNAM, Facultad de Contaduría y Administración (FCA)*. Recuperado el 23 de septiembre de 2025 de http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/98/4/informatica_4.pdf
- UOC. (s.f.). Lenguajes de programación: clasificación, tipos y recursos de aprendizaje. *Universitat Oberta de Catalunya (UOC)*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://multimedia.uoc.edu/blogs/fem/es/lenguajes-de-programacion-clasificacion-tipos-y-recursos-de-aprendizaje/
- IES Fontexería. (s.f.). Iniciación a la programación [PDF]. *IES Fontexería (Xunta de Galicia)*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://centros.edu.xunta.gal/iesfontexeria/aulavirtual/pluginfile.php/27232/mod_resource/content/1/iniciaci%C3%B3n%20a%20la%20programaci%C3%B3n.pdf
- Pavón, N. (s.f.). Tema 1: Introducción a la Programación Funcional. *Universidad de Huelva (UHU)*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://www.uhu.es/nieves.pavon/pprogramacion/funcional/tema1f.html
- UNAM/FCA. (1998). Apuntes de Informática [PDF]. *UNAM, Facultad de Contaduría y Administración (FCA)*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/98/4/informatica_4.pdf
- UNAM/FCA. (1998). Apuntes de Informática [PDF]. *UNAM, Facultad de Contaduría y Administración (FCA)*. Recuperado el 23 de septiembre de 2025 de http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/98/4/informatica_4.pdf
- Lenovo. (s.f.). Lenguaje de bajo nivel. *Lenovo*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://www.lenovo.com/es/es/glossary/low-level-language/?srsltid=AfmBOorMDJ6YcrcK6eQ1kI5sE_pWNBxOaFLS6uR_K3NYBdR29hCEOd4U
- CIPSA. (s.f.). Lenguajes de programación de bajo nivel vs. alto nivel. *CIPSA*. Recuperado el 23 de septiembre de 2025 de https://cipsa.net/lenguajes-de-programacion-de-bajo-nivel-vs-alto-nivel/
- DeVry University. (s.f.). 9 razones por las que deberías aprender Python. *DeVry University*. Recuperado el 24 de septiembre de 2025 de https://www.devry.edu/blog/9-reasons-you-should-learn-python.html
- UpBe.ai. (s.f.). Sistemas de reconocimiento del habla (ASR): ¿Qué es?. *UpBe.ai*. Recuperado el 24 de septiembre de 2025 de https://www.upbe.ai/blog/sistemas-de-reconocimiento-del-habla-asr-que-es/#:~:text=El%20archivo%20de%20divide%20en,el%20audio%20original%20a%20texto.
- IBM. (s.f.). Reconocimiento de voz. *IBM*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://www.ibm.com/es-es/topics/speech-recognition
- IBM. (s.f.). Texto a voz. *IBM*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://www.ibm.com/es-es/think/topics/text-to-speech
- visionporcomputador.es. (s.f.). Visión Por Computador [Libro en PDF]. *visionporcomputador.es*. Recuperado el 24 de septiembre de 2025 de https://www.visionporcomputador.es/libroVision/VisionPorComputador.pdf
- DataCamp. (s.f.). Introducción a las funciones de activación en redes neuronales. *DataCamp*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://www.datacamp.com/es/tutorial/introduction-to-activation-functions-in-neural-networks
- IBM. (s.f.). Modelo de red neuronal. *IBM Documentation*. Recuperado el 28 de septiembre de 2025 de https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=networks-neural-model
- Statology. (s.f.). Elegir la prueba estadística correcta: un enfoque de árbol de decisión. *Statology*. Recuperado el 02 de diciembre de 2025 de https://www.statology.org/choosing-the-right-statistical-test-a-decision-tree-approacht

10. Anexos

Código QR a los anexos:

Enlace al mismo archivo:

https://drive.google.com/file/d/1A80gS-Gts-ShZ1mMqAMX2pYilak4wLj6t/view?usp=sharing

REMODELANDO LA HISTORIA LLEVÁNDOLE LA CONTRARIA A EUCLIDES: LA GEOMETRÍA NATURAL

PRIMERA APROXIMACIÓN AL ESTUDIO DE ARQUITECTURAS HISTÓRICAS

Íñigo Herranz Lozano
Tutores: Antonio Rosellón Dueñas
y Laura Lorenzo Higueras

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias, en primer lugar, a mi tutor Antonio, por estar siempre ahí para guiarme, escucharme y ayudarme en el planteamiento del trabajo. Su esfuerzo y dedicación marcaron la diferencia. Sin él, este trabajo no se hubiese podido haber realizado.

En segundo lugar, a mi otra tutora, Laura, por el apoyo bibliográfico, conocimientos y apoyo moral y matemático concedido. Sin ella no se hubiese podido hacer la parte matemática.

A mi familia, por su constante apoyo a lo largo de todo este proceso. Siempre estuvieron dispuestos a brindarme su ayuda, me escucharon en cada momento y contribuyeron de manera significativa en el proyecto. Sin su colaboración, este trabajo no habría sido tampoco posible.

También a todos mis compañeros de Bachillerato, sean de Científico, Humanidades, Sociales o Excelencia. Sin ellos, las ganas y alegría para ir cada día al instituto no estarían. En especial a Alba Ruiz, que sin ella la motivación diaria no hubiera existido y no hubiese podido terminar el trabajo.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer al I.E.S. Guadarrama, y en especial a sus profesores, por hacer de esta etapa y este proyecto, algo que nunca olvidaré.

ÍNDICE

1. RESUMEN……240
2. ABSTRACT……240
3. INTRODUCCIÓN……240
3.1. Justificación……240
3.2. Hipótesis……241
3.3. Objetivos……241
4. MARCOTEÓRICO……241
4.1. Historia de la Geometría Euclídea y no Euclídea……241
4.2. Terminología infinito……243
4.3. Historia de los modelos geométricos en la Arquitectura ……243
4.4. Componentes de la Arquitectura……244
5. METODOLOGÍA……244
5.1. Explicación de los fractales en sentido contrario a Euclides……244
5.2. La Geometría Natural……245
5.3. Rúbricas……246
5.3.1. Rúbricas de elementos arquitectónicos……247
5.3.2. Rúbrica para la clasificación de los monumentos……254
5.4. Realización de una maqueta……255
6. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS……255
6.1. Análisis y resultado final de la Alhambra de Granada……255
6.2. Análisis y resultado final del Palacio de Carlos V……257
6.3. Análisis y resultado final de la Sagrada Familia……258
6.4. Posibles errores cometidos……260
7. CONCLUSIÓN……260
8. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN……261
9. BIBLIOGRAFÍA……261

1. RESUMEN

La Geometría Euclídea describe el mundo con ángulos rectos y un orden minucioso. Sin embargo, lo que ocurre en la naturaleza no está ordenado. Esto es debido a que las Geometrías no Euclídeas y la Geometría Fractal están en ella. También coincide que rechazan la visión cosmológica del mundo euclídeo pues los fractales, al corresponder a un paradigma infinito, no son aceptados. A modo de unificarlas, se ha fundado la Geometría Natural. Mediante sus cinco principios se observará la aplicación de dicha geometría en la arquitectura, a través de rúbricas que expliquen el carácter natural de cualquier monumento. Estas primero tratan los elementos arquitectónicos más generales en el mundo occidental, que luego han sido unificadas en una rúbrica general. Además se han analizado, como referencia, la Alhambra de Granada, el Palacio de Carlos V y la Sagrada Familia, los cuales han dado como resultado 62.75%, 18.37% y 84.37% de clasificación de natural.

PALABRAS CLAVE: *Geometría Euclídea, no Euclídea, Fractal, Natural; infinito, principios, arquitectura, monumento, elementos arquitectónicos*.

2. ABSTRACT

Euclidean Geometry describes the world through right angles and a strict, linear order. However, nature is rarely so organized; instead, it is defined by Non-Euclidean and Fractal Geometries. These frameworks challenge the classical Euclidean cosmological vision, particularly because fractals operate within an infinite paradigm that traditional models struggle to accommodate. To bridge this gap, the concept of Natural Geometry was developed. Based on five core principles, its application in architecture is evaluated through specific rubrics that quantify the "natural character" of a structure. After analyzing general architectural elements across the Western world and consolidating them into a universal rubric, three landmarks were assessed: the Alhambra, the Palace of Charles V, and the Sagrada Familia. These references yielded "naturalness" scores of 62.75%, 18.37%, and 84.37%, respectively.

KEY WORDS: *Euclidean, non-Euclidean, Fractal, Natural Geometry; infinite, principles, architecture, landmarks, architectural elements*.

3. INTRODUCCIÓN

3.1 Justificación

Siempre he tenido una relación íntima con mi familia. Mi curiosidad innata no fue específicamente innata. Cada vez que bajábamos a jugar siempre hallaba incógnitas que resolver. Mi familia por parte de padre vive en San Lorenzo de El Escorial, pueblo que abarca uno de los mayores monumentos de nuestro país. Y no satisfecho con la fascinación diaria que albergaba al ver ese imponente edificio a la lejanía también me sometía a los placeres de la imaginación cuando caminando el patio que rodea al Monasterio me preguntaba: ¿qué será vivir en un edificio como este? ¿Qué tendrá en su interior?

Desde aquellos momentos de pequeño siempre me he preguntado el ¿cómo serán esos edificios? La intriga me sucumbía con sus miles de cuestiones, así que empecé, cuando íbamos de viaje, a albergar toda la información posible. Con diez años ya me sabía los impresionantes mecanismos de la Alhambra del patio de los leones, y la mezcla extraña del Palacio de Carlos V, las palmeras de la Mezquita-Catedral de Córdoba, el naturalismo de la Gran Vía, la cesión del Templo de Debod, el puente de Sevilla, la impresionante Sagrada Familia… Era un no parar.

Una vez ya hecho adolescente, fui cogiéndole cariño a las matemáticas. Como quien no dice la cosa me fui aficionando más y más a aquellas formas tan rectas, tan perfectas; a esa divina geometría. Hasta que un día descubrí la geometría asimétrica, la que se suponía que era fea, y resultó encantarme.

Y una vez hecho mayor, desarrollada la parte psicológica social y abstracta, me puse en órbita sobre el universo de la física. Empecé a leer a Einstein, a Stephen Hawking, a Galileo… Este amor al conocimiento físico junto a las matemáticas es lo que quiero estudiar, y lo que más me ilusiona. Quiero investigar, leer, enseñar, crear. También es lo que más me gusta.

Así que mezclando el superhombre de Nietzsche y el adolescente, conseguí llegar a la mezcla de mis gustos, es decir, los edificios y las matemáticas: la arquitectura. Y como soy un chico no muy normal, decidí escoger las arquitecturas menos normales posibles, y a la vez las más bonitas; y dio el caso de que contenían también en su composición una mezcla de geometrías muy poco comunes, pero las más bellas.

3.2 Hipótesis

- Las figuras fractales y las Geometrías no Euclídeas se pueden contener en una sola geometría distinta a la Euclídea: la Geometría Natural.
- La Geometría Natural está presente en la Arquitectura.
- Algunos edificios antiguos de España tienen elementos naturales en su interior.

3.3 Objetivos

Para la realización de este proyecto, hemos definido una serie de objetivos clasificados en generales y dentro de ellos unos más específicos:

- Exponer una idea completa y remodeladora sobre qué son las geometrías no euclídeas junto a los fractales.
  - Sintetizar que no solo no pertenecen a Euclides las que no cumplen con el quinto postulado de las paralelas.
  - Agrupar toda la información posible para explicar las geometrías no euclídeas y la geometría fractal de una manera sencilla.
  - Explicar la secuencia infinita fractal que rompe con el pensamiento euclídeo y proponer su rechazo a Euclides.
  - Enunciar qué es la Geometría Natural y postular sus principios.
  - Crear una terminología y emplearla en el trabajo de investigación.
- Demostrar las hipótesis.
  - Realizar unas rúbricas primarias para la observación de la Geometría Natural en elementos arquitectónicos, agrupadas posteriormente en una rúbrica general para los monumentos.
  - Realizar el análisis correspondiente con imágenes de los edificios y ponerles su porcentaje de naturalidad comparable entre otros.
- Sintetizar lo aprendido y la idea elaborada en una maqueta de un edificio que crearemos en honor a la muerte de Frank Gehry.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Historia de la Geometría Euclídea y no Euclídea

Para entender este trabajo primero hay que situarse en el concepto de geometría y en el tiempo. Primero con la geometría. Como afirman Brannan, Esplen y Gray (2011), la Geometría es el estudio de la forma. Y la palabra "Geometría" viene de las palabras griegas *Geo* (tierra) y *metria* (medida). (p.1).

Según Ramos y Márquez (2011), la Geometría se considera que nació con el primer filósofo, Tales de Mileto, debido a que se le atribuyen varias proposiciones del ámbito matemático, incluyendo aquel que se le conoce como *Teorema de Tales*: "Un ángulo inscrito en una semicircunferencia es un ángulo recto". Siguiéndole, se encuentra Pitágoras cuyo impacto en la geometría es únicamente su teorema: "en todo triángulo rectángulo la suma del cuadrado de los catetos es la suma del cuadrado de la hipotenusa". Dando lugar al descubrimiento del primer número irracional, al aplicar a un triángulo de unidad en los catetos, el teorema.

Sin embargo, "O mais antigo texto matemático grego que nos chegou completo é a obra de Euclides *Os Elementos*." [El texto matemático griego más antiguo que nos ha llegado completo es la obra de Euclides, *Los Elementos*.] (Bongiovanni & Jahn, 2010, p. 37).

Según Proclo (como se cita en Santaló, 1961, p.10), Euclides escribió sobre la geometría en sí, sobre la que el ser humano era capaz de apreciar junto a la perspectiva. Siguiendo la forma recta de la luz del Sol, el genio matemático dio a conocer *Los Elementos de Euclides* y todo el estudio de las formas de los objetos y sus propiedades, reduciéndolos en apenas unos cuantos axiomas y más importante aún, en cinco postulados.

Según Euclides (F.Enriques, 1954, p. 33) toda la geometría cumplía dichos postulados (ver figura 1):

> I. Desde cualquier punto a otro se puede trazar una recta. II. Toda recta limitada puede prolongarse indefinidamente en la misma dirección. III. Con cualquier centro y cualquier radio se puede trazar una circunferencia. IV. Todos los ángulos rectos son iguales entre sí. V. Si una recta, cortando a otras dos, forma los ángulos internos menores que dos rectos, esas dos rectas prolongadas indefinidamente se cortan del lado en que están los ángulos menores que dos rectos.

El quinto postulado también se puede entender de la siguiente manera:

V'. "Por un punto exterior a una recta pasa una y sólo una paralela." (Playfair, como se cita en Santaló, 1961, p. 10).

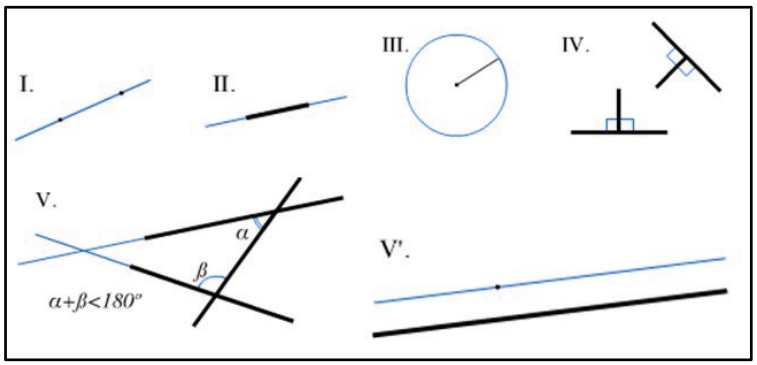


Figura 1. Representación geométrica de los postulados de Euclides.

Nota. Tomado de "Postulados de Euclides", *Wikipedia* (2023), https://es.wikipedia.org/wiki/Postulados_de_Euclides

Tras contener toda la geometría en un número mínimo de teoremas surgen problemas que hasta la llegada de matemáticos modernos tras la investigación de Gauss, J.Bolyai, N. Lobachevski y Riemann no fueron capaces de solventarse. Los cuatro primeros postulados no poseen contradicciones. Entre ellos tienen relación y, entre sí, se pueden demostrar. El dilema surge cuando su propio creador empieza a negar, o a intentar utilizar lo menos posible, su quinto postulado. "Euclides fue el primer geómetra no euclidiano, o bien, que la geometría no euclidiana nació negando su paternidad" (Santaló, 1961, p.9).

A través de la prueba constante de distintos métodos para demostrar la universalidad del quinto postulado, o haciendo lo contrario, negarlo para ver que no podía ser negado y justificar su validez, nacieron las Geometrías no Euclídeas, negando el quinto teorema euclídeo y dando realidad a otro. Tomando como referencia la definición axiomática de Euclides sobre las paralelas: "Paralelas son las rectas de un plano que prolongadas por sus dos partes en ninguna de ellas se encuentran" (F.Enriques, 1954, p. 33); estas geometrías, llamadas después por Riemann la Hiperbólica y la Elíptica, remodelaron el postulado:

- V''. "En un punto exterior a una recta hay dos o más rectas paralelas".
- V'''. "En un punto exterior a una recta no hay ninguna recta paralela".

También, en la definición axiomática de figura, Fernando Enriques, como comentario, dice lo siguiente: "Se nota cómo Euclides excluye así la consideración de la figura ilimitada, que parece repugna al genio griego, para el cual es considerado como perfecto, solamente lo finito". La definición es la siguiente: "Figura es aquello que está comprendido entre uno o más términos" (Euclides, s.f.).

En cuanto a la Geometría no Euclídea, empieza por el padre jesuita italiano Giovanni Saccheri que mediante la "reducción al absurdo" intentó demostrar el quinto postulado, no pudiendo. Adrien-Marie Legendre también intentó demostrarlo mediante tres hipótesis. Que la suma de los ángulos de un triángulo fuese menor, igual o mayor, que dos ángulos rectos. Sólo pudo eliminar la primera hipótesis pero no las demás.

La Geometría no Euclídea nació en el siglo XIX como una creación arbitraria de la mente humana y no como algo impuesto por el mundo al hombre. Los primeros en darse cuenta de la posible ruptura del quinto postulado fueron Karl Friedich Gauss y los dos padres fundadores: János Bolyai y Nicolái Lobachevski. Con el trabajo de Riemann, se desarrolla la segunda mitad: la Geometría no Euclídea. (Cisternas & Rigoberto, 2015).

Una vez ya mencionado los autores importantes en las Geometrías no Euclídeas debemos mencionar otra geometría, nacida de otro análisis sobre las matemáticas. Esta geometría es la Fractal, creada por Benoît Mandelbrot.

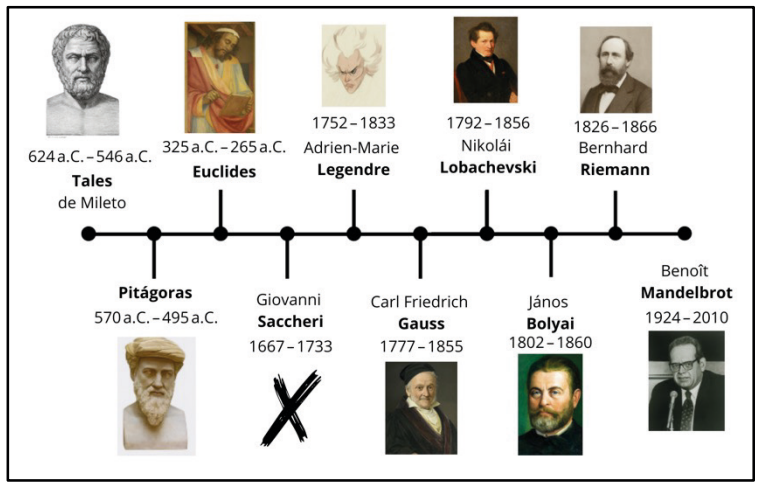


Figura 2. Línea del tiempo de la Historia de la Geometría.
Nota. Recreada por ChatGPT, OpenAI.

Para poder explicar las Geometrías no Euclídeas, hemos de mencionar las bases del cálculo diferencial de Riemann. Primero, hay que entender la noción que introdujo de variedad como concepto fundamental para entender cualquier espacio geométrico. Una variedad es un espacio geométrico que localmente, en un punto determinado, "se comporta" como el espacio euclídeo de dimensión n. Riemann propone que a cada punto de la variedad se le asocia una forma cuadrática positiva en el espacio tangente. Esta métrica permite medir distancias infinitesimales y al integrarlas define las longitudes de curvas y el cálculo de áreas y volúmenes en espacios curvos. La curvatura variable relaciona a las Geometrías no Euclídeas debido a que si es constante positiva se trata de una Geometría Elíptica, si es una curvatura cero es una Euclídea plana y si es una constante negativa, una Geometría Hiperbólica. (Plotnitsky, 2009)

La Geometría Hiperbólica está en una superficie de curvatura negativa, por ejemplo, en un paraboloide hiperbólico. Las rectas son arcos de hipérbola y por un punto exterior a una recta pasan infinitas paralelas. La Geometría Elíptica es una geometría de superficie de curvatura positiva y constante. Por ejemplo, una esfera o una elipse. Si estamos en una esfera, las rectas son los círculos máximos (como los meridianos). Por tanto, todas las rectas se cortan, es decir, no hay rectas paralelas. Por tanto, en ambas no se cumple el quinto postulado (L. Santaló, 1961).

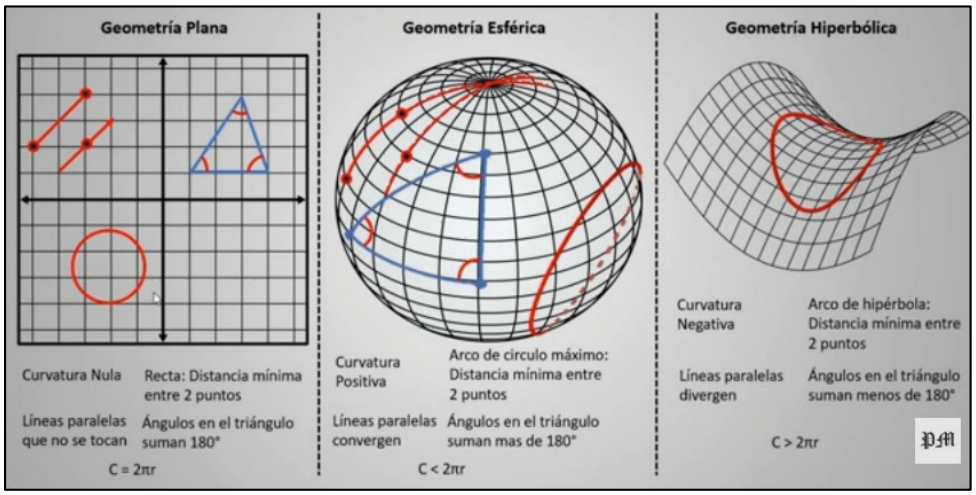


Figura 3. Diferencias entre la Geometría Euclídea y las no Euclídeas. *Nota*. Tomada del canal de *Youtube* PowerMaths, "Video 11 Postulados de Euclides y Tipos de Geometrías" https://www.youtube.com/watch?v=NA5K-7Mw0Jc

Como ya hemos mencionado, también hablaremos de los fractales. El término fractal posee una definición de Kenneth Falconer, que dice así: "Un fractal es un conjunto para el cual la dimensión de Hausdorff-Besicovitch es estrictamente mayor que su dimensión topológica." (Fractal geometry, 1990) No obstante, la definición citada no explica el fenómeno específico de los fractales. Mandelbrot ya conocía que los fractales, al poseer distintas cualidades entre ellos, no podían ser contenidos ni en una frase ni en una fórmula matemática. Nosotros nos referimos a un fractal a una figura que se repite a diferentes escalas, bien ampliado, bien fragmentado.

4.2 Terminología infinito

Primero hay que entender qué es el infinito. Algo infinito es "que no tiene ni puede tener fin ni término". Algo ilimitado es "que no tiene límites" (Real Academia Española, s. f., definiciones 1).

Aristóteles, similar a su fondo metafísico de la realidad, distingue dos tipos de infinito; el infinito como un proceso de crecimiento sin final (potencia) y el infinito como una totalidad completa (acto). Además Gauss no fue el único matemático de su época en rechazar el infinito actual, también Cauchy rechazó la idea de una colección infinita, por razones parecidas a las de Galileo; es decir, la existencia de una biyección entre la totalidad infinita y una de sus partes, lo cual echaba por tierra el axioma euclidiano de que el todo es mayor que la parte (Ortiz, 1994).

4.3 Historia de los modelos geométricos en la Arquitectura

La arquitectura es el arte de proyectar y construir edificios o espacios para el uso de las personas y es considerada como arte porque comporta una voluntad estética. Desde las primeras construcciones arquitectónicas hasta hoy, la arquitectura se ha basado en 3 principios redactados por Vitruvio: firmeza, utilidad y elegancia. (J. R. Triadó, M. Pendás & X. Triadó, 2016)

Nos centraremos en la cultura de occidente y en la variedad de corrientes estilísticas, específicamente en tres: el estilo hispanomusulmán (en concreto, el nazarí), el Renacimiento (en concreto, manierismo) y el modernismo.

- Siglos XIII–XV. Hispanomusulmán, el nazarí: en el Reino Nazarí de Granada. Muy decorativo con relieves y geometría; con fuentes, jardines y patios como elemento principal; y uso de materiales pobres como el yeso, ladrillo y madera, y una decoración especialmente rica. A pesar de estar en declive político fue una época de esplendor. El edificio es la Alhambra de Granada.
- Siglo XVI. Manierismo: surge tras el Renacimiento clásico. En España se opta por un estilo más sobrio, sin innovaciones. Representa las formas clásicas; uso consciente de las proporciones. Veremos El Palacio de Carlos V, creado por Pedro Machuca.
- Siglo XX. Modernismo: tras la Segunda Revolución Industrial. Máximo auge en Cataluña. Se inspira en la naturaleza con figuras orgánicas y curvas; busca innovar. Analizaremos la Sagrada Familia, de Gaudí.

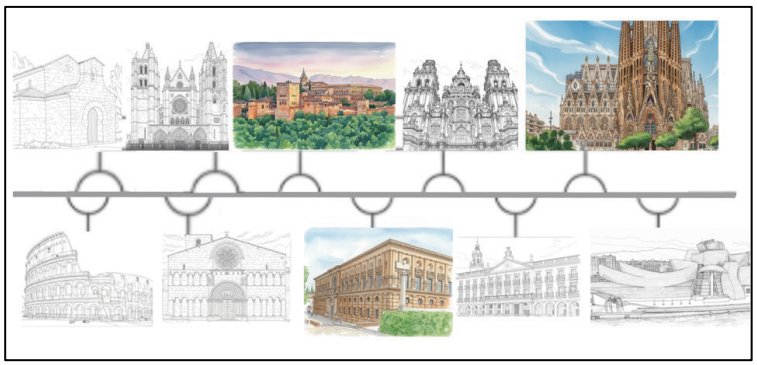


Figura 4. Línea del tiempo de corrientes arquitectónicas en España.
Nota. Generada por gemini.google.com.
Nota. En orden cronológico: romano, visigodo, románico, gótico/ hispanomusulmán, renacentista, barroco, neoclásico, modernista, contemporáneo.

4.4 Componentes de la Arquitectura

La arquitectura tiene tres elementos estructurales principales, el espacio interior, el espacio exterior y la ornamentación. En tanto que a los elementos de sostén, nos fijaremos en los pilares y en las columnas. La columna es el elemento sustentante más característico de sección circular. Consta de tres elementos principales: la basa sobre la cual descansa el fuste; el fuste o la parte central de la columna, entre la basa y el capitel; y el capitel o parte superior de la columna que suele tener más riqueza decorativa. En cuanto a los elementos sustentados, tenemos 4 principales. El dintel es un elemento horizontal. El arco es un elemento curvo. Las cubiertas planas, o techos, son las que descansan en el dintel. Y por último, las cubiertas abovedadas son las originadas por el movimiento longitudinal o rotatorio de un arco generador. Las más habituales son la bóveda y la cúpula. (J. R. Triadó, M. Pendás & X. Triadó, 2016)

5. METODOLOGÍA

Para abordar la investigación sobre las geometrías no euclídeas, los fractales y sobre la arquitectura de los edificios antiguos ya especificados, se diseñó y ejecutó un estudio experimental. Consta de varias etapas.

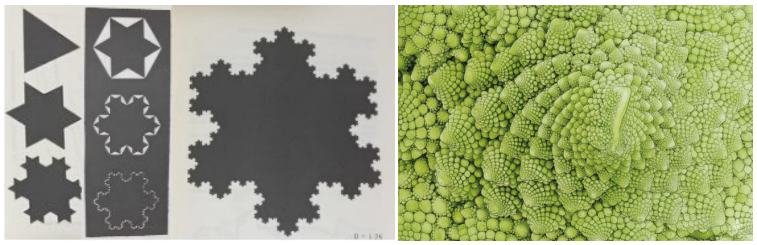
5.1 Explicación de los fractales en sentido contrario a Euclides

Como ya hemos visto, la geometría euclídea es aquella considerada perfecta por el matemático griego, y puesto sus constantes referencias a la semejanza de objetos tras la superposición, se podría dictar que la Geometría Euclídea, aparte de ser la descrita por sus proposiciones y axiomas, es también aquella geometría finita. A una figura limitada le podemos atribuir un valor finito a un área y perímetro. Sobre el perímetro interviene el fenómeno matemático de los fractales. Si el perímetro fuese un fractal se podría considerar infinito dando entonces un área con un crecimiento limitado pero cuya limitación será una aproximación a su valor real, como un límite matemático: el área tenderá a un cierto valor el cual se aproxima sin llegar a este.

La Geometría Euclídea es aquella perteneciente al mundo antiguo que está dentro de la cosmovisión geocéntrica y un paradigma metafísico de la realidad, finito. Mientras que la geometría fractal pertenece a una cosmovisión con un cosmos infinito. Nuestro papel será unir estas visiones geométricas tan distintas, aunque sea por contraste. Estos, y su fenómeno matemático, constan de un alargamiento infinito, que nunca para. Hay que recordar que los fractales, por así decirlo, son patrones con una cierta forma determinada que al acercar la mirada a sus extremos se vuelven a repetir y al volver a acercarnos, se vuelven a repetir, y así constantemente. Todo ese proceso se denomina autosemejanza. Aunque parece que los fractales difieren con sus formas a través de las dimensiones en las que están contenidas, pues relativizando el punto de vista pueden poseer una dimensión u otra. Las dimensiones que normalmente

rondan son las conocidas en el mundo actual: 0D, 1D, 2D, 3D. Sin embargo, las dimensiones fractales pueden muy bien ser una fracción simple e incluso un número irracional, diferenciándose de las dimensiones habituales: hay objetos irregulares o interrumpidos entre los fractales que satisfacen la dimensión 1 y 2 que no se parecen ni a una recta, ni a un plano. Mandelbrot pone el siguiente ejemplo donde consideramos que se explican bastante bien:

> En otras palabras, la dimensión física tiene inevitablemente una base pragmática, y por tanto subjetiva; depende del grado de resolución. A modo de confirmación, demostremos cómo un ovillo de 10 cm de diámetro, hecho con hilo de 1 mm de sección, tiene, de una manera por así decirlo latente, varias dimensiones efectivas distintas. Para un grado de resolución de 10 metros es un punto, y por lo tanto una figura de dimensión cero; para el grado de resolución de 10 cm es una bola tridimensional; para el grado de resolución de 10 mm es un conjunto de hilos, y tiene por consiguiente dimensión 1; para el grado de resolución de 0,1 mm cada hilo se convierte en una especie de columna, y el conjunto vuelve a ser tridimensional; para el grado de resolución de 0,01 mm cada columna se resuelve en fibras filiformes y el conjunto vuelve a ser unidimensional; a un nivel más fino de este análisis, el ovillo se representa por un número finito de átomos puntuales y el conjunto tiene de nuevo dimensión cero. Y así sucesivamente: ¡el valor de la dimensión no para de dar saltos! (Mandelbrot, 1975, p. 21)



Tomado de *Los objetos fractales*, Mandelbrot, 1975

Recreada por gemini.google.com

Aparte de la infinidad demostrada con el ejemplo, los fractales también se pueden considerar no euclídeos debido a otros motivos, como explicó Mandelbrot:

> La geometría fractal se caracteriza por dos elecciones: la elección de problemas en el seno del caos de la naturaleza, pues describir todo el caos sería una ambición sin esperanza ni interés, y la elección de herramientas en el seno de las matemáticas, pues buscar aplicaciones a las matemáticas por la única razón de su belleza no ha producido otra cosa que sinsabores. Con su maduración progresiva, esas 2 elecciones han creado algo nuevo: entre el dominio del caos incontrolado y el orden excesivo de Euclides hay a partir de ahora una nueva zona de orden fractal. (Mandelbrot, 1975, p. 18)

Los fractales son no euclídeos, no sólo por su unicidad, que rompe con la semejanza comparativa que busca constantemente el geómetra griego, sino porque también están entre el caos, que es lo opuesto al orden de Euclides pero también están entre él; además de su carácter infinito. Es decir, no es contrario a Euclides, pero tampoco le pertenece, no cumple su orden estricto. Demostrando así que si en aquella Alejandría en el 300 a.C. los fractales hubiesen sido formulados y estructurados con axiomas matemáticos, Euclides hubiese rechazado totalmente la investigación sobre estos. Además, como ya hemos explicado anteriormente, conseguir una plena definición de estos parece imposible al ser tan variados, algo que contrasta con la explicación minuciosa de sus trece libros.

5.2 La Geometría Natural

Una vez ya demostrado que los fractales no pertenecen al orden de Euclides, explicaremos cómo vamos a reformular la Geometría no Euclídea. A partir del hallazgo e interés del matemático Gauss de la posible ruptura del quinto postulado de la base geométrica de *Los Elementos*, fue cuando nació la Geometría no Euclídea. Dicha geometría incluye solamente, debido a la constante referencia de la búsqueda del error del postulado, o de la reformulación, las geometrías conocidas hoy en día como Elíptica e Hiperbólica, que son las que proponen dos distintas variaciones del postulado. Sin embargo, como ya hemos comentado, los fractales, a pesar de no tratarse únicamente de una geometría basada en el quinto postulado euclídeo, tampoco pertenecen a Euclides. Esto deja una cuestión en el aire: ¿dónde se agrupan? Para resolver dicha cuestión hemos planteado una respuesta clara, eficaz y breve: las geometrías que no cumplan con el pensamiento del genio griego, ya sea en la universalización del quinto postulado o en la superposición, es decir, sobre lo finito e infinito, las podemos englobar bajo el concepto de Geometría Natural.

Este nombre viene concebido por el concepto de imperfección en la naturaleza, que no sigue un orden perfecto

y además concuerda con la Geometría Fractal, Elíptica e Hiperbólica. Cuando se habla de Geometría Natural buscamos la inspiración, y que las formas se asemejen lo más posible, en las vidas vegetales y de la naturaleza. En esos árboles con un número de ramas indeterminado, pero con una forma curva, irregular, y que sigue patrones del azar. Además hay que destacar que la naturaleza es la mayor ingeniera. A través de la selección natural ha creado troncos capaces de soportar su peso en ramas.

Para poder referirnos a diferentes cuestiones a lo largo del trabajo, y en la Geometría Natural, hemos creado una terminología. El nombre Geometría Natural lo empleamos al hablar del concepto matemático, geométrico, que engloba la Geometría Hiperbólica, la Geometría Elíptica y los fractales.

El término "geometría natural", o su uso en plural, se designará a aquellas formas y objetos 3D que se incluyan en la Geometría Natural. Cuando hablamos de la naturaleza nos referimos a "elementos puros naturales". Cuando hablamos de arquitectura, "elemento natural" es el elemento arquitectónico que cumple con los principios, o similar a cumplirlos, naturales. "Figura natural" se referirá a toda aquella interpretación de la naturaleza: agua, hojas, animales… Y por último, "monumento naturalizado [1] ", se referirá a un monumento que cumple con la Geometría Natural.



Figura 5. Representación de los términos naturales.
Nota. De izquierda a derecha: Geometría, geometría, elemento, figura (natural).
Nota. Generada por gemini.google.com

Como todos los distintos tipos de geometría tiene unas bases y principios que hemos visto convenientes para poder guiar a quienes se pregunten qué es la Geometría Natural. Son los siguientes:

1. El estudio y uso de las Geometrías Naturales consiste principalmente en la semejanza con la naturaleza.
2. Para su plena realización y conseguir formar una geometría natural, solo será posible en la dimensión 3, no en el plano.
3. Todo aquel elemento natural se debe asimilar al azar de la naturaleza y/o a la repetición autosemejante de los fractales: debe variar en sí misma.
4. Por consiguiente, en la naturaleza rara vez se observa algo igual. Así que las geometrías o los elementos naturales deberán tender a ser lo más únicos posible.
5. A partir de ahora, se podría considerar importante que si para la creación de una geometría natural o la construcción de un edificio natural se va a intervenir, ocupar o destruir un hábitat natural, que ese natural no se haga. No se puede buscar volver al paisaje de la naturaleza a través de matar la última vida que va quedando, cada vez menos.

5.3 Rúbricas

Del diseño hipodámico [2] con sus cardos (calle con orientación norte-sur) y sus decumanos (calle con orientación este-oeste) perpendiculares de las ciudades griegas y romanas a las laberínticas medinas musulmanas con sus callejuelas estrechas, curvas y muchas veces sin salida; de las bóvedas de las cuevas a las que llamamos nuestro primer hogar a los túmulos y dólmenes prehistóricos como los de Antequera y los templos griegos, los palacios renacentistas o las nuevas curvas de los edificios modernistas y contemporáneos como los del recientemente fallecido Frank Gehry (Guggenheim de Bilbao); de los frontones clásicos y renacentistas típicamente triangulares y en forma de semicircunferencia al barroco andaluz en los interiores de las iglesias múltiplemente fragmentados; de los dinteles perpendiculares a los arcos polilobulados del arte hispano-musulmán…. Múltiples vaivenes de gusto ha habido a lo largo de la historia, cambios que han

1 Se escoge este término porque el término "monumento natural" está recogido en algunas regiones como Andalucía, como un espacio o elemento de la naturaleza constituido por formaciones con notoria singularidad, rareza o belleza, que merecen ser objeto de una protección especial, y a las formaciones geológicas, los yacimientos paleontológicos y demás elementos de la gea que reúnan un especial interés por la singularidad o importancia de sus valores científicos, ecoculturales o paisajísticos. Recogido del Portal ambiental de la Junta de Andalucía.

2 El diseño ortogonal o hipodámico fue desarrollado por Hipodamo de Mileto (siglo V a.C), arquitecto y urbanista griego, "padre" del urbanismo racional por su enfoque teórico y práctico de la organización urbana. Posteriormente, en el mundo romano, Marco Vitruvio Polión fue un arquitecto e ingeniero del siglo I a.C famoso por su tratado *De Architectura*, una obra fundamental que asentó las bases de la arquitectura clásica y fue redescubierta en el Renacimiento, inspirando a artistas como Leonardo da Vinci con sus principios de proporción y armonía, especialmente la relación entre el cuerpo humano y la construcción.

aparecido con un fin, lo cual sería tema de otro trabajo, pero las líneas rectas y curvas han estado en nuestra arquitectura siempre, en la planimetría de nuestras ciudades, en cada uno de sus monumentos, en las decoraciones de los mismos, cada una transmitiendo un mensaje para cumplir con el fin que se busca en cada época. Aunque el fin no lo vayamos a tratar, si podemos intuir su origen, la línea recta, humana, mientras que la línea curva, natural.

No hay más que pensar en las líneas rectas que encontramos en la naturaleza: el horizonte, algunos troncos de árboles pues la mayoría tienden a desviarse de la trayectoria más recta entre la raíz y la copa, las patas de los pájaros, algunos tallos, algunos bordes de piedras punzantes, poco más. Mientras que la curva, la curva se encuentra sin fin en la naturaleza: en las nubes, en las gotas de lluvia o granizo que caen de ellas, en las copas de los árboles a los que riegan o las flores a las que nutren, en las piedras de los ríos en los que se unen dichas gotas, en los meandros finales con los que llegan al mar, en las olas de los mares cuando se enredan sobre sí mismas, en los granos de arena de las playas, en casi todos los animales acuáticos que adaptan dicha forma para luchar contra el rozamiento…

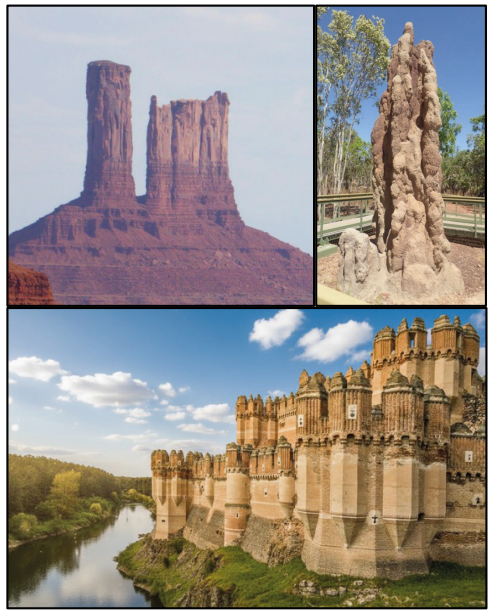
Por ello, para la divulgación indirecta del conocimiento de las geometrías naturales, en este trabajo de investigación hemos creado una rúbrica para evaluar cómo de natural es un edificio. Constará de nueve principales apartados o categorías, que son donde principalmente se suelen encontrar las geometrías naturales: las torres, las murallas y/o baluartes, el patio y los elementos puros naturales, otros elementos decorativos en suelos y paredes, la luz natural del sol, los elementos de sostén (columnas), los elementos sustentados (los dinteles y arcos), los elementos sustentados (techo, bóvedas y cúpulas) y la fachada. Para puntuar cada una de esas categorías se ha elaborado a su vez una rúbrica para cada una de ellas. Se intentarán ilustrar mediante la búsqueda de paralelos [3] entre la biología y geología, y la arquitectura. Las rúbricas tienen imágenes para identificar más fácilmente las geometrías naturales en los elementos. Además, en esa rúbrica general se introduce una puntuación por posible fractalidad (autosemejanza).

La rúbrica general dará, al finalizar, un resultado que clasificará los edificios en más o menos naturales sobre un tanto por ciento comparable entre otros. Su objetivo es que la gente analice la diferencia entre una geometría y otra y pueda aplicarla en su vida cotidiana, que no sea un conocimiento básico sin utilidad. Además, esa puntuación, para que sea correspondiente en edificios que no presentan ciertos apartados de la rúbrica, será la obtenida mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Puntuación de un monumento: } \frac{\Sigma \text{ puntuación obtenida elementos arquitectócnicos}}{\Sigma \text{ putuación máxima elementos arquitectónicos para ese monumento}} \cdot 100$$

5.3.1 Rúbricas de los elementos arquitectónicos
Rúbrica primaria de las torres.

Construimos murallas para protegernos de los extranjeros y subíamos colinas para verlos lo antes posible, si venían. Cuando no había colina que pudiéramos subir, tuvimos que crear un edificio que nos situase más alto. Así se sustituyó la montaña o colina por la torre. Y cuando quisimos tocar el cielo y ver a Dios [4] , nos subimos a la torre más alta creada, como termitas que sin saber a dónde van, ascienden [5] .



Fotos particulares

Recreación del Castillo de Coca con gemini. google.com

3 Similar a la búsqueda de paralelos en la arqueología. Solo nos referimos a la semejanza, no que el arquitecto se haya basado en elementos puros naturales para crear su obra.

4 Mito de la Torre de Babel.

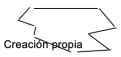
5 En el termitero, la imagen del centro, los individuos, afirman los expertos, sólo conocen lo que sucede en su entorno, dando una forma irregular del montón. Sin embargo, cumple con las necesidades de la colonia, pues les protege de la humedad y de las hormigas. Recogido de *Xataka*, "Así son los "rascacielos" creados por termitas: verdaderas obras arquitectónicas que son vitales para estos insectos", Javier Pastor, 12/01/2020.

Para todo aquel monumento que contenga torres hemos creado una rúbrica. Pero si un edificio tiene torres de distinta función (militar y residencial) se pasará dos veces.

Forma de la torre	Tipo de geometría	Clasificación de natural	Puntos
Cuadrilátero 	Totalmente euclídea con ángulos rectos	Nada natural, plenamente medida	0
Polígono regular 	Totalmente euclídea con ángulos, pero con ligeras curvas de superficie lisa	Algo más natural, pues no es tan cerrado y recto como los cuadriláteros	1
Circunferencia 	Principalmente euclídea pero algo más curva	Algo más natural, pero se sigue observando el orden euclídeo	2
Decoración exterior	Puntuación		
Aparecen decoraciones tipo: arcos, figuras vegetales o animales, estrellas…	Aparecen pocas 0	Aparecen muchas 3	
Aparecen distintos colores en las decoraciones	Aparecen pocos 0	Aparecen muchos 3	
Hay fractalidad en las decoraciones	No 0	Sí 3	
Decoración interior	Puntuación		
Aparecen decoraciones tipo: arcos, figuras vegetales o animales, estrellas…	Aparecen pocas 0	Aparecen muchas 3	
Aparecen distintos colores en las decoraciones	Aparecen pocos 0	Aparecen muchos 3	
Hay fractalidad en las decoraciones	No 0	Sí 3	

Rúbrica primaria de las murallas y/o baluartes.

Las murallas no son sólo creación del humano, también suceden en la naturaleza. En España, a base de depósitos calcáreos como las estalactitas y cientos de años se formó la acequia de Toril, una muralla puramente natural impresionante de Granada poco conocida que aquí se muestra más abajo junto con la muralla nazarí de Granada. Para todo aquel edificio que presente una muralla y/o baluartes en su composición hemos creado esta rúbrica:

Forma de la muralla y/o baluartes	Tipo de geometría	Clasificación de natural	Puntos
Cuadrilátero 	Totalmente euclídea con ángulos rectos	Nada natural, plenamente medida	0
Polígono regular 	Totalmente euclídea con ángulos, pero con ligeras curvas de superficie lisa	Algo más natural, pues no es tan cerrado y recto como los cuadriláteros	7
Polígono irregular 	Principalmente natural pero algo más retorcida. Respeta la naturaleza, dentro de lo que cabe	Es prácticamente natural porque se forma a raíz de adaptarse al medio, y es totalmente asimétrica	15
Torres en la muralla	Repetición alterna de las torres según su forma	Es similar a natural, debido a su fractalidad y repetición infinita	20

Según lo analizado, sólo hemos encontrado un tipo de muralla fractal. Es la abaluartada, encontrada en la parte fronteriza española con Portugal.

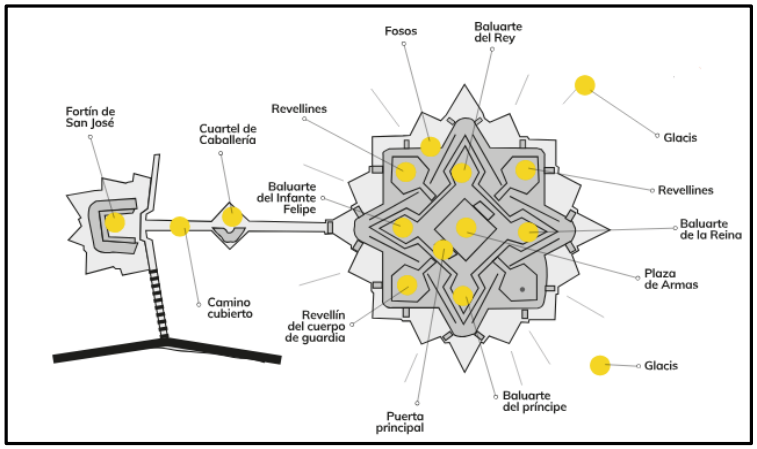


Figura 6. Fortificación de Aldea del Obispo, Salamanca.
Nota. Tomada de la Guía de Yacimientos Arqueológicos de Castilla y León (2025), https://www.jcyl.es/jcyl/patrimoniocultural/GuiaLugaresArqueologicos/salamanca/02salamanca/index.html



Fotos particulares

Rúbrica primaria de los patios y elementos puros naturales.

Los patios también se asemejan a fenómenos naturales, como los cenotes (proceso geológico, inferior izquierda) y los atolones (proceso biológico imagen central).





Recreadas por gemini.google.com



Foto de particular

Para todo aquel edificio que presente un patio en su composición, que esté encerrado entre paredes, hemos creado esta rúbrica, que incluye la forma del patio, la presencia de elementos puros naturales y otras decoraciones

Forma del patio	Tipo de geometría	Clasificación de natural	Puntos
Cuadrilátero 	Totalmente euclídea con ángulos rectos	Nada natural	0
Polígono regular 	Euclídea con ángulos	Ligeramente natural	2
Circunferencia 	Principalmente euclídea pero algo más curva	Algo más natural, pero se sigue observando el orden euclídeo	3
Elipse 	Menos euclídea. Ningún parecido a lo rectilíneo	No es completamente natural, pero da cierta asimetría. Algo natural	4
Irregular con cierta fractalidad	Principalmente natural pero algo más retorcida	Completamente natural	6

Otras decoraciones		NO	PARCIAL	SI
Figuras vegetales/animales	Hay de distintos tipos	0	1	2
	Se distribuyen de manera fractal	0	1	2
Figuras geométricas y arcos	Hay de distintos tipos	0	1	2
	Se distribuyen de manera aleatoria o fractal	0	1	2
Volúmenes	Aparece volumen en la decoración	0	1	2
Materiales	Aparecen distintos materiales en decoración	0	1	2
Colores	Aparecen distintos colores en decoración	0	1	2

Elementos puros	Explicación	Puntos		
Agua	En forma de estanques, fuentes, canales…	4		
	Se forman patrones fractales al reflejarse el elemento cuando se mueve el agua	No se refleja el monumento 0	Se reflejan algunas partes 2	Se refleja entero/la fachada principal 4
Conjunto de elementos vegetales	Número de elementos vegetales (frutos, especies…)	No aparecen 0	Aparecen algunos 2	Aparecen muchos 4
(árboles, arbustos, flores…)	Tipos de agrupación	Están agrupados con un plan 0	Algo irregular 1	Una disposición irregular, de azar 2
Cielo y luz	Que el patio no esté encerrado	2		
Elementos terrestres	Que el patio tenga tierra y rocas	No hay ninguna 0	Sólo una 1	Hay de las dos 2
	Tipos de agrupación	Están agrupadas en orden 0	Algo desordenada 1	Totalmente desordenadas 2

PUNTUACIÓN TOTAL PATIOS	SOBRE 40:
	S0BRE 20:

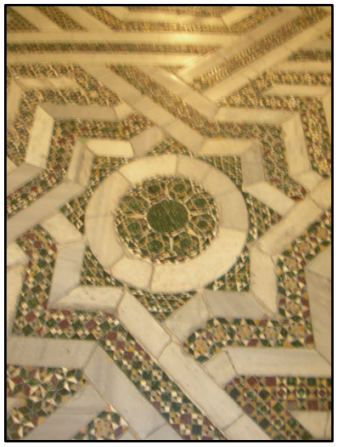
Tras la suma de los análisis de diferentes corrientes estilísticas y arquitectónicas, no hemos visto una secuencia autosemejante o repetitiva en los patios.

Rúbrica primaria de otros elementos decorativos en suelos y paredes.

Además de las posibles decoraciones que puedan aparecer en todos los elementos que se estudian en el trabajo, en numerosos edificios antiguos aparecen otros elementos decorativos en suelos y paredes que pueden tener un fuerte componente de geometría natural ya que se asemejan a elementos puros naturales.




Recreadas por gemini.google.com y chatgpt.com




Fotos particulares

Como el trabajo versa sobre arquitectura, nos vamos a centrar en esos elementos decorativos que pueden considerarse arquitectónicos, ya sea por la utilización de piedras, cerámicas, yesos y otros materiales, no hay más que pensar en los mosaicos romanos, los suelos de los palacios renacentistas, los azulejos y yeserías árabes, las celosías de puertas y ventanas, el esgrafiado segoviano; o por la representación de arquitecturas como ocurre con la pintura mural de Pompeya [6] y los trampantojos típicos del renacimiento y barroco. Para todo aquel edificio que contenga decoración en paredes o suelos, hemos creado esta rúbrica [7] :

Elementos decorativos		Puntos		
		NO	PARCIAL	Sí
Figuras vegetales y/o animales	Hay de distintos tipos (hojas, frutos, animales, humanos…)	0	1	2
	Aparecen en el suelo y/o pared			
	Se distribuyen de manera aleatoria o fractal			
Figuras geométricas	Hay de distintos tipos (arcos, estrellas, polígonos…)			
	Aparecen en el suelo y/o en la pared			
	Se distribuyen de manera aleatoria o fractal			
Tipo de decoración	Tienen distintos tipos de materiales			
	Se representan en relieves			
Colores	Tienen distintos colores	0	2	4

Rúbrica primaria de la luz natural del sol.

La importancia de la luz en la arquitectura nace de que resalta detalles arquitectónicos e incluso puede transformar por completo un espacio y conseguir efectos y sensaciones en las personas. Tomemos como ejemplo la iluminación en la Sagrada Familia y ese escalofrío que te recorre el cuerpo cuando ves esos ventanales creando el cielo en la misma tierra. Imaginemos la sensación tras ver la luz desnudarse en fractales tras atravesar los vapores del baño árabe. Por ello, hemos creado una rúbrica:



Fotos particulares

6 Evoluciona de un primer estilo que representa mármoles en paredes a un segundo estilo que introduce las perspectivas mediante arquitecturas, al tercer estilo que además introduce la decoración vegetal y al cuarto estilo que introduce la figuración. Ver *Pompeya: historia, vida y arte de la ciudad sepultada* (2004), edición al cuidado de Marisa Ranieri Panetta. Galaxia Gutenberg.

7 No tiene parte fractal debido a que ya se menciona dentro de la rúbrica en sí.

Luz	Puntos		
Naturaleza de la luz	Luz artificial 4	Luz natural del sol 8	
Tiene más de una forma de ventana / apertura	No 0	Una o dos 2	Más de tres 4
Tiene más de un color	No 0	Uno o dos 2	Más de tres 4
Número de ventanas/aperturas	Uno 0	Dos o tres 2	Más de cuatro 4

Rúbrica primaria de las columnas (fuste y capitel) y pilares.

Los elementos de sostén, la columna y el pilar, son aquellos que reciben la carga y sustentan las cubiertas y los arcos. El ser humano ha sido capaz de crearlos a través de la imitación de elementos que nos encontramos en la naturaleza.







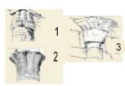
Fotos particulares

Para todo aquel monumento que contenga columnas y pilares, y por consiguiente, dinteles, hemos creado esta rúbrica:

En orden. Tomado de: https://artetorre.blogspot.com/2021/07/elementos-formales-de-la-arquitectura.html ; https://www.profesorfrancisco.es/2012/12/arte-egipcio.html ; https://free3d.com/es/modelo-3d/egyptian-lotiform-column-460.html ; https://www.glosarioarquitectonico.com/glossary/columna/ ; *Diccionario visual de términos arquitectónicos*,, Lorenzo de la Plaza Escudera ; https://es.slideshare.net/slideshow/ud-11-arquitectura-barroca/73635090 ; https://blog.sagradafamilia.org/es/columnas-sagrada-familia-geometria-mecanica-materiales-bosque-piedra/

Tipo de fuste y estilo	Imagen	Tipo de geometría	Clasificación de natural	Puntos
Pilar cuadrilátero		Euclídeo en su perfección	Nada natural. No cumple con ninguno de los principios	0
Corintio		Totalmente euclídea con ángulos rectos respecto a la basa y con ligeras estrías	Nada natural, pero sí más natural que un rectángulo como columna	1
Compuesto		Totalmente euclídea con ángulos menores que rectos y con estrías	Ligeramente natural, por la menor esbeltez. Al ser un poco más ancho es más curvilíneo y asimétrico	2
Jónico		Totalmente euclídea con ensanchamiento y con estrías	Brevemente más natural, es bastante más ensanchado, aunque sigue teniendo estrías	3
Dórico		Menos euclídea con un ensanchamiento medio y con estrías	Brevemente más natural, es más ensanchado y sus estrías están más alisadas	4
Toscano y papiriforme abierto		Totalmente curva y bastante ensanchamiento y lisa	Algo más natural, pues se sigue observando el orden euclídeo, pero ya no se encuentran estrías y es totalmente lisa y, sobre todo, ancha en la mitad	5
Egipcia palmiforme		Totalmente curva y bastante ensanchamiento y lisa. También tiene pinturas o jeroglíficos	Medianamente natural. Mezcla las superficies curvas y lisas con ensanchamientos y pinturas o jeroglíficos de figuras naturales, que le aportan el enriquecimiento natural	6
Egipcia lotiforme		Totalmente curva estriada y tiene, antes del capitel, una superficie lisa y curvilínea. Ambientada en la flor de loto	Principalmente natural. Es una figura natural, el tallo del loto, hecha elemento. Sin embargo, no presenta variación alguna puesto que apenas se nota la diferencia de sus estrías curvas. Otro elemento que le aporta naturalidad es la forma curva y lisa que tiene antes de llegar al capitel	7
Egipcia papiriforme		Totalmente curva, menos estriada pero más marcada la diferencia y tiene, antes del capitel, una superficie rayada y curvilínea	Mayormente natural. Es una figura natural, el tallo del papiro, hecha elemento. Además, presenta una ligera variación puesto que se nota la diferencia de sus estrías curvas. Otro elemento que le aporta naturalidad es la forma curva y lisa que tiene antes de llegar al capitel	8
Ofídica, barroco		Totalmente curva y lisa. Además tuerce sobre sí misma	Totalmente natural, pero le faltan las figuras naturales. Es demasiado sencilla, curva y lisa. Utiliza geometrías no euclídeas y rechaza el orden recto de euclides, pero no cumple el principio de asemejarse a la naturaleza	9
Salomónica, barroco		Totalmente natural, con figuras naturales como hojas y/o animales y no euclídea. Tuerce sobre sí misma	Natural en su totalidad. Contiene figuras naturales y elementos no euclídeos. Se trata de un elemento curvo. Además, la composición suele ser de colores oscuros, lo que le aporta el matiz de asemejarse a un tronco de un árbol	10
Columnas arbóreas o de doble torsión, modernismo de Gaudí		Totalmente recto con ligeras torsiones sobre sí misma, pero lo más natural. Se asemeja a la naturaleza. Rasgos fractales	Natural en su totalidad. Es una columna hecha a la par con los principios naturales. Juega con la rotación de las figuras euclídeas y se parte en columnas más pequeñas, como una básica secuencia fractal, que dan lugar a su forma de árbol. Están diseñadas para que pase la luz	10

Tomadas de https://comentarioshistoriadelarte.wordpress.com/2014/10/27/los-soportes-arquitectonicos-el-pilar-la-columna-y-la-pilastra/ ; excepto arbóreo, fotos particular

Tipo de capitel y estilo	Imagen	Tipo de geometría	Clasificación de natural	Puntos
Dórico		Totalmente rectilínea, principalmente siguiendo el orden euclídeo. Siguiendo el orden curvilíneo de una circunferencia. Sin decoración	Es muy poco natural. Solo se le aporta un matiz debido a que es ligeramente curvilíneo. Por lo demás sería totalmente euclídeo ya que se hace siguiendo los postulados de Euclides	1
Toscano		Sigue los patrones euclídeos pero es más lisa y curvilínea. Sin decoración	Es algo más natural debido a no ser tan recto y ser más curvilíneo	2
Jónico		Tiene relieves correspondientes a euclides. Con dos volutas en espiral, algo menos euclídeo	Es ligeramente natural debido a su forma principalmente recta, pero con las volutas en espiral. Eso le aporta la riqueza curvilínea	3
Gótico		Geometría irregular al igual que la disposición de las figuras naturales. Principalmente curva y, aunque con relieves rectos planos, superficie abultada	Mitad natural debido a la irregularidad y la ligera presencia de figuras naturales. Además, tiene presencia constante de figuras rectas	5
Lotiforme (1), palmiforme (2), papiriforme (3); egipcios		Curva y principalmente lisa. Se asemeja a ciertas plantas	Principalmente natural. No consta de muchas figuras naturales, solo representa una flor, y lo hace a través de superficies lisas y curvas	8

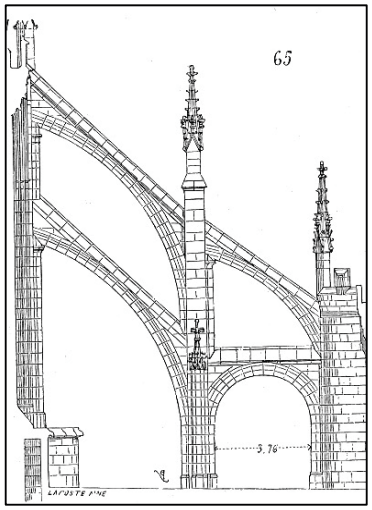
Nazarí o cúbico, musulmán		Curvilíneo, con patrones de hojas, lunas, conchas o figuras naturales, en menor medida. Con restos euclídeos	Principalmente natural. Con figuras naturales que realzan su naturalidad. Además, principalmente curvo y con secuencia autosemejante fractal. Asimétrico	9
Califal y taifa, musulmán (1); corintio y compuesto (2)		Curva y lisa en ciertas partes. Se compone principalmente de la representación como decoración de hojas de acanto	Principalmente natural. No es asimétrico, sigue un estricto orden matemático, pero son ciertos tipos de hojas, lo que le aporta el matiz natural al ser un elemento puro natural. Además varía entre las formas y tamaños de las hojas generando así un patrón similar al fractal	9
Modernista		Principalmente asimétricos, con vegetales y animales que poseen un valor simbólico	Totalmente natural. Hay presencia de figuras naturales, totalmente, y calcadas exactamente como son. Además varía el número de las figuras, a veces 3, a veces 4; y cumplen en ser de distintas especies	10
Arbóreo, modernista de Gaudí		Curvo, irregular, también recto y no euclídeo	Totalmente natural. Al ser una representación de un elemento vegetal, y tener geometrías no euclídeas. Además tiene superficie curva	10
			Puntuación total:	

Rúbrica primaria de los arcos.

Los elementos sustentados son aquellos que distribuyen la carga. El ser humano ha sido capaz de crearlos a través de imitar puentes y arcos que nos encontramos en la naturaleza.



Fotos particulares



Tomado de "Arbotante", *Wikipedia* (2025). https://es.wikipedia.org/wiki/Arbotante

Para todo aquel monumento que contenga arcos, hemos creado esta rúbrica:

Tipo de arco	Imágenes	Clasificación de natural	Puntos
Adintelado		Nada natural. Totalmente euclídeo y recto	0
De medio punto, apuntado		Ligeramente natural. Es curvo, pero principalmente simétrico	4
Herradura, túmido		Algo más natural. Simétrico con forma de circunferencia asimétrico	6
Califal cordobés, en cortina		Mitad natural debido a la irregularidad y asimetría, y curvatura	12
Mixtilíneo, conopial		Principalmente natural debido a la mezcla de formas y centros y curvaturas	14
Polilobulado, trilobulado, angrelado, festoneado		Prácticamente natural. Con centro asimétrico que además incluye la repetición, algo bastante fractal	18
Rampante, de entibo, hiperbólico, entrecruzado		Totalmente natural. Que juega con la Geometría Hiperbólica (los dos primeros) y con la Geometría Fractal (los dos últimos). Completamente curvos	20

Tomadas de *Diccionario visual de términos arquitectónicos*, Lorenzo de la Plaza Escudera

Rúbrica primaria de las bóvedas, cúpulas y otros techos.

Éramos nómadas que se acogían en las cuevas por las noches y cuando llovía. Por eso cuando no podían abrigarnos aquellos abrigos rocosos porque no se encontraban, tuvimos que fabricar algo que nos tapase. Y cuando ya quisimos volver a tener esa sensación de hogar y de estar calentitos, rodeados de roca volcánica basáltica, convertimos

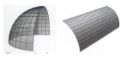
lo que nos tapaba en lo que nos recordaba a casa.

O la que nos protegía de los rayos y los depredadores.



Foto particular. Tomado de *Pompeya: historia, vida y arte de la ciudad sepultada* (2004), edición al cuidado de Marisa Ranieri Panetta. Galaxia Gutenberg. Recreada con gemini.google.com. Foto particular.

Si el monumento tiene varios tipos de elementos sustentados se pasará una vez por cada tipo y se hará la media. Para todo aquel monumento que contenga elementos sustentados, hemos creado esta rúbrica:

Elemento sustentado	Tipo	Imagen	Clasificación de natural	Puntos
Bóveda	Maya		Nada natural. Es totalmente euclídeo y recto. Ligeramente repetitivo fractal	1
	De cuarto de esfera o de cañón		Nada natural. Simplemente con un carácter curvilíneo	2
	De cañón apuntada		Algo más natural. Es asimétrico y curvilíneo	4
	De cañón		Medianamente natural. Debido a la asimetría y a la curvatura	5
	De lunetos, plana, anular		Bastante más natural. Mezcla de anteriores (lunetos), ruptura del orden euclídeo (plana, pero no plana) y curvilínea totalmente	6
	De rincón de claustro, vaída, tabicada		Plenamente natural. Figura no euclídea elíptica con carácter curvilíneo	9
	Calada, estrellada (de nervaduras)		Totalmente natural. Son figuras fractales autosemejantes. Además de no euclídeas	10
	De crucería, de arista, sexpartita, de abanico, cónica o hiperbólica		Plenamente natural. Figuras no euclídeas elípticas con carácter curvilíneo y repetitivo	10
Cúpula	Esférica		Algo natural a pesar de ser totalmente euclídeo. Tiene superficie curva	5
	Bulbosa, gallonada		Plenamente natural. Es asimétrico y curvilíneo	10
Techo	Rectos		Nada natural. Es totalmente euclídeo	0
	Curvilíneos con ligero volumen		Bastante natural. Asimétrico y curvilíneo medianamente	7
	Curvilíneos con volumen resaltado		Superficie curvilínea y asimétrica. Depende del edificio y qué forma del techo sea, pero principalmente, totalmente natural	10

Tomadas de *Diccionario visual de términos arquitectónicos*, Lorenzo de la Plaza Escudera

Decoración de bóvedas, cúpulas y otros techos.	Interior	Decoraciones en los nervios	Nada natural. Simétricos y euclídeos, pero curvos		1
		Pinturas de simulación de arquitectura	Ligeramente natural. Presenta recreación del espacio cosa que genera alguna repetición		2
		Pinturas de decoración vegetales y animales	Ligeramente natural. Aunque son figuras naturales al ser pinturas no tienen volumen		3
		Geométricas	Algo más natural. Secuencia repetitiva, con cierta fractalidad		5
		Mocárabes	Totalmente naturales. Tienen geometría no euclídea y autosimilitud fractal		6
	Exterior	Agujas, lunas, pináculos	No presentan 0	Sí presentan 2	
		Cerámicas			

Elaboraciones propias

Rúbrica primaria de fachadas.

Es el primer elemento que uno ve del edificio, por eso lo consideramos un elemento aparte importante, pero que está compuesto de otros elementos arquitectónicos. Para todo aquel monumento que contenga al menos una fachada, hemos creado esta rúbrica.



Tomadas de *vista al mar (2025)* Fotos particulares

ELEMENTO A TRATAR					PUNTOS		
Vanos (puertas y ventanas)	Puertas	Tipo en función de su geometría	Dintel		0		
			Medio punto, apuntado, peraltado		2		
			Otras curvaturas		3		
			Hipérbolas y semejantes		4		
		Número	Una		0		
			Dos o tres		1		
			Más de tres		2		
	Ventanas	Forma	Cuadrada		0		
			Circular		1		
			Medio punto, apuntado, peraltado		2		
			Otras curvaturas		3		
		Distribución	Ordenada		0		
			Desordenada		2		
Frontón principal	Forma		Cuadrado/rectangular		0		
			Triangular		2		
			Curvilíneo		4		
Frontones de ventanas	Forma		Cuadrado	Sin ruptura de líneas	0		
				Con ruptura de	1		
				Con ruptura de líneas	1		
			Triangular	Sin ruptura de líneas	2		
				Con ruptura de líneas	3		
			Curvilíneo	Sin ruptura de líneas	4		
				Con ruptura de líneas	5		
Volumen general de la fachada			Fachada plana		0		
			Fachada con algo de volumen		3		
			Fachada con un gran volumen		6		
Otras decoraciones					NO	PARCIAL	SÍ
	Figuras vegetales/animales		Hay de distintos tipos		0	1	2
			Se distribuyen de manera aleatoria o fractal		0	1	2
	Figuras geométricas y arcos		Hay de distintos tipos		0	1	2
			Se distribuyen de manera aleatoria o fractal		0	1	2
	Volúmenes		Aparece volumen en la decoración		0	1	2
	Materiales		Aparecen distintos materiales en decoración		0	1	2
	Colores		Aparecen distintos colores en decoración		0	1	2
					Total sobre 40:		
					Total sobre 20:		

5.3.2 Rúbrica para la clasificación de los monumentos

Esta rúbrica reúne todas las primarias de los elementos arquitectónicos. Además de, en ciertos elementos, un apartado que especifica la puntuación por seguir un patrón fractal (4 puntos), en parte (sólo 2), o no (0). Para hacer la puntuación del monumento habrá que sumar la puntuación máxima de naturalidad de los elementos y luego ver qué puntuación sale para sacar posteriormente un porcentaje. No todos los monumentos tienen todos los elementos que se van a usar, así que los que no tengan, se omiten y el porcentaje para ver su mayor o menor naturalidad, se hace respecto a la suma total de la máxima puntuación posible de cada elemento. El porcentaje se interpreta así:

- 0-25%: arquitectura predominantemente euclídea. Monumento euclídeo.
- 25-50%: presencia significativa de elementos naturales.
- 50-75%: presencia moderada de elementos naturales.
- 75-100%: arquitectura altamente natural. Monumento naturalizado.

Monumento: / Elemento arquitectónico:	EXPLICACIÓN	FOTO	Puntos elementos	Puntos fractalidad	Puntos totales
TORRES DEFENSIVAS				X	
TORRES RESIDENCIALES				X	
MURALLA					
PATIO Y ELEMENTOS NATURALES					
ELEMENTOS DECORATIVOS SUELOS Y PAREDES				X	
LUZ				X	
ELEMENTOS DE SOSTÉN: COLUMNAS Y DINTELES					
ELEMENTOS DE SUSTENTACIÓN:					
ARCOS					
BÓVEDAS, CÚPULAS Y OTROS TECHOS					
FACHADA				X	
				Porcentaje:	

5.4 Realización de una maqueta

Para sintetizar lo aprendido hemos visto conveniente la creación de una maqueta. Hemos seguido tres pasos:

- Planteamiento: buscar plano principal.
- Creación: crear los elementos necesarios para realizarla. (A través de arcilla y superficies asemejando la hiperbólica y la elíptica, las pudimos crear.)
- Unificación: unir las piezas y finalizar la maqueta.

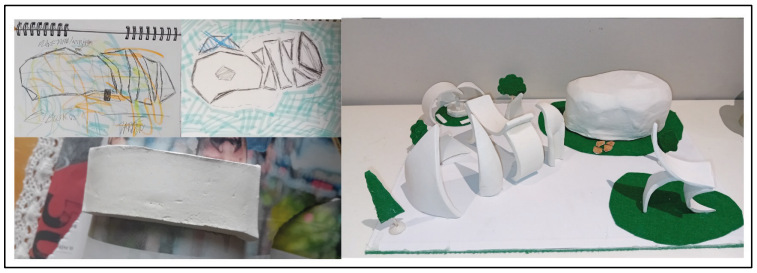


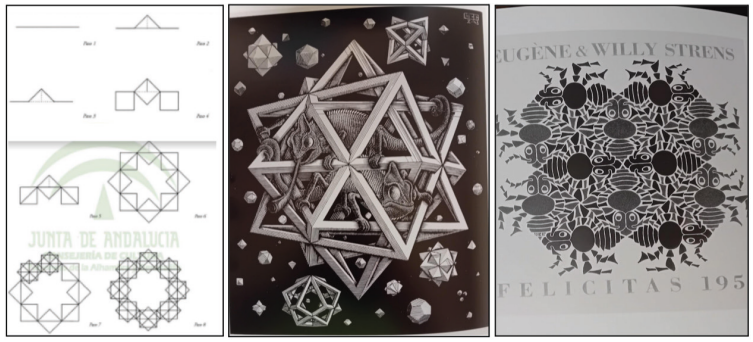
Figura 7. Proceso de la maqueta.
Nota. Foto propia.
Nota. Arriba a la izquierda, paso 1. Abajo a la izquierda, paso 2. A la derecha, paso 3.

6. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS

Una vez realizadas todas las rúbricas, de elementos y de monumentos, se han aplicado a 3 monumentos: Alhambra de Granada y palacio de Carlos V (dentro del mismo recinto monumental pero separados en el análisis por sus diferentes estilos) y Sagrada Familia, como monumentos representativos de sus estilos arquitectónicos. Los resultados de la aplicación de las rúbricas quedan recogidos a continuación en la rúbrica general (para consultar todas las rúbricas, mirar Anexos).

6.1 Análisis y resultado final la Alhambra de Granada (Anexo 1)

Según Daza Llín en su proyecto de investigación del IES Guadarrama (2019-2020): "Pese a que los fractales se fueron definiendo a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, pensamos que los constructores de la Alhambra intuían o estaba presente en sus conocimientos la geometría fractal. Estos indicios de la geometría fractal se pueden apreciar en la decoración bidimensional, (estrellas, rosáceas, mosaicos, lacerías) y también en la decoración tridimensional, en los mocárabes (prismas de yeso, unos al lado de otros, colgantes que parecen estalactitas) que adornan las bóvedas y cornisas."



Tomado de Daza Llín. Ver referencia pie de página

La influencia de las decoraciones de la Alhambra ha sido amplia, como se aprecia en la carrera artística de Escher[8] .

A continuación, la rúbrica de la puntuación de la Alhambra de Granada:

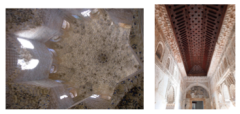
(No se ha puesto aquí la parte de fachada porque no hay fachada principal, para ver la rúbrica entera, ir al Anexo 1)

Monumento:	ALHAMBRA DE GRANADA				
Elemento arquitectónico	EXPLICACIÓN	FOTO	Puntos elementos sobre 20	Puntos fractalidad sobre 4	Puntos totales
TORRE DEFENSIVA	Las torres defensivas de la Alhambra son de formas cuadradas en su origen islámico realizadas en tapial, aunque algunos añadidos cristianos posteriores añaden baluartes de piedra más redondeados.		0	X	0

8 Pintor Holandés que tras acabar los estudios visitó el monumento. Conocido por sus escaleras imposibles. *Ver m.c.Escher. El arte de lo imposible. (Exposición Madrid, 15 de diciembre de 2006 a 4 de Marzo de 2007)*

TORRE RESIDENCIAL	En la Alhambra hay tres torres que tienen una decoración excepcional por dentro: la torre del palacio de Comares, la torre de las Infantas y la torre de la Cautiva: azulejos, techos de madera o mocárabes, celosías, arcos con yeserías….		9	X	9
MURALLA	La muralla de la Alhambra está formada por una cerca realizada fundamentalmente en tapial, con torres de forma cuadrangular. Posteriormente, en época cristiana se añadieron baluartes con formas más curvilíneas realizados en piedra para mejorar la protección frente a las armas de pólvora. Se añade cierta fractalidad a la estructura por esos añadidos y fundamentalmente por la parte de la alcazaba, donde se observan varias murallas sucesivas.		15	2	17
PATIO Y ELEMENTOS NATURALES	La puntuación de los patios se debe fundamentalmente a los elementos naturales que tienen ya que la forma es bastante regular. Se incorporan multitud de plantas con distintos colores, son espacios abiertos y suelen contar con una o varias fuentes e incluso de agua que corre y crea sonidos y en algunos casos grandes estanques donde se reflejan los edificios anexos. También cuentan con otras decoraciones en sus paredes como exquisitas yeserías y azulejos con formas intrincadas.		14.5	2	16.5
ELEMENTOS DECORATIVOS SUELOS Y PAREDES	La decoración en suelos y paredes fuera de los patios también es notable en la Alhambra. En suelos no se ve mucha decoración ya que se tratan de cerámica de un sólo color, pero las paredes tienen un zócalo de azulejos con formas geométricas entrecruzadas y repetitivas (fractal) en casi todas las estancias y encima de ese zócalo suelen aparecer intrincadas yeserías. Aunque actualmente debido a la pobreza de los materiales y a la exposición del medio no conservan color, las yeserías solían estar pintadas.		17	X	17

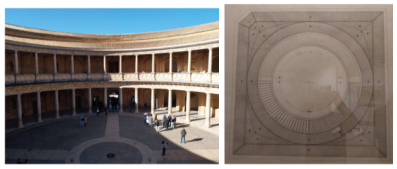
Tomado de:https//www.alhambra.org/mapa-virtual-alhambra.html

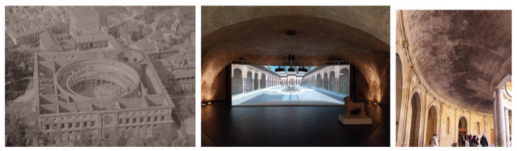
LUZ	La luz juega un papel fundamental en numerosas estancias de la Alhambra. En los baños la luz entra por los tragaluces del techo en forma de estrella, con reflejos en el vapor de agua (originariamente cerrados con cristales de colores). En el mirador de Lindaraja aún se conservan dichos colores en los cristales del techo. Además, la luz entraba en numerosas estancias de la Alhambra por celosías con curiosas formas geométricas repetitivas.		20	X	20
ELEMENTOS DE SOSTÉN (COLUMNAS Y CAPITELES)	Capiteles nazaríes pintados decoraban la Alhambra, capiteles que como se observa presentan decoración vegetal y de escritura y yeserías. Además cada capitel es distinto.		14	2	16
ELEMENTOS DE SUSTENTACIÓN (ARCOS)	En la Alhambra se encuentran arcos menos decorados de herradura, por ejemplo en puertas de acceso o en los baños, y otros arcos más decorados con yeserías pintadas.		18	2	20
BÓVEDAS, CÚPULAS Y OTROS TECHOS	Se ha hecho la media de ambos, techo curvilíneo sin volumen y de bóveda de rincón, pues así son la mayoría de los techos de la Alhambra, cubiertos por armaduras de madera o por mocárabes. No hay cúpulas.		8	2	10
		Fotos particular	Porcentaje %: (125.5/200) x 100 = 62.75		

Si sólo se hubiese tomado el Palacio de la Alhambra, se quitarían las rúbricas torres defensivas y murallas. Se quedaría un porcentaje mayor: (108.5/160) x 100 = 67.81%.

6.2 Análisis y resultado final de Palacio de Carlos V (Anexo 2)

(No se ha puesto la parte de torres, murallas y luz porque no presenta esos elementos, para ver la rúbrica entera ver Anexo 2)

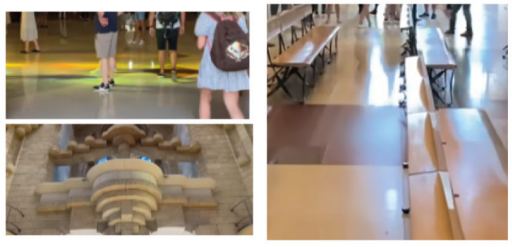
Monumento:	PALACIO DE CARLOS V				
Elemento arquitectónico	EXPLICACIÓN	FOTO	Puntos elementos sobre 20	Puntos fractalidad sobre 4	Puntos totales
PATIO Y ELEMENTOS NATURALES	El patio del palacio es muy original, una esfera dentro de la planta cuadrada del palacio. No tienen apenas ninguna decoración y los elementos naturales brillan por su ausencia.		3.5	0	3.5
ELEMENTOS DECORATIVOS SUELOS Y PAREDES	Apenas hay decoración en suelos (sólo alguna sala del palacio correspondiente al museo de bellas artes tiene alguna decoración geométrica) y en las paredes no hay ningún tipo de decoración.		1	X	1
ELEMENTOS DE SOSTÉN (COLUMNAS Y DINTELES)	Sólo se encuentran columnas en los dos niveles del patio, con capiteles toscanos en la planta baja y jónicos en la superior.		3.5	2	5.5

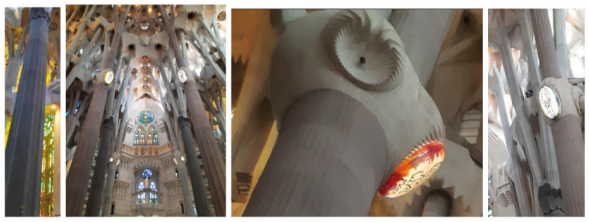
ELEMENTOS DE SUSTENTACIÓN (ARCOS)	Prácticamente todos los elementos de sustentación son dinteles (en este caso algo curvilíneos por las características del patio).		1	0	1
BÓVEDAS, CÚPULAS Y OTROS TECHOS	El actual palacio de Carlos V tiene en algunas salas pertenecientes al museo de bellas artes de Granada algunos techos de madera de casetones cuadrados y hexagonales. Sin embargo, estos techos no son de la época en que se construyó, ya que se quedaron sin cubrir como demuestra la foto. De ahí que no se aplique la parte de decoración.		5.5	X	5.5
FACHADA	La fachada del palacio de Carlos V presenta la típica estructura clásica con puertas adinteladas y frisos sobre puertas y ventanas triangulares fundamentalmente. Presenta algunas decoraciones circulares y en la parte de abajo de la fachada central algunas representaciones de batallas. Es muy característico el almohadillado con gran volumen que presenta alrededor de todas las fachadas del edificio.		7.75	X	7.75
		Fotos particular			Porcentaje %: (24.25/132) x 100 = 18.37

Se trata de un monumento euclídeo debido a su porcentaje menor a 25%.

6.3 Análisis y resultado final de la Sagrada Familia (Anexo 3)

(No se ha puesto la parte de murallas y patios y elementos naturales porque no los presenta, para ver la rúbrica entera ver Anexo 3)

Monumento:	LA SAGRADA FAMILIA				
Elemento arquitectónico	EXPLICACIÓN	FOTO	Puntos elementos sobre 20	Puntos fractalidad sobre 4	Puntos totales
TORRES	Las torres gaudianas toman una gran importancia en el concepto total de la Sagrada Familia. Tienen una extensa decoración en el exterior apreciable de distintos materiales y cerámicas. Su forma principal es circular. Además constan de pináculos. Una vez terminada, tendrá 18 torres.		17	2	19
ELEMENTOS DECORATIVOS SUELOS Y PAREDES	Los elementos decorativos en la pared y el sur de la sagrada familia no son prácticamente notables, puesto que no hay. Gaudí hizo tantas columnas para que entrase toda la luz posible, por ello las paredes no cumplen ninguna decoración.		8	X	8

LUZ	La luz, sin lugar a duda es el elemento estrella de la Sagrada Familia. Está diseñada a propósito para que en cada parte de ella se vea. Además los ventanales tienen colores distintos para que dentro salga un color dependiendo del momento del día.		20	X	20
ELEMENTOS DE SOSTÉN (COLUMNAS Y CAPITELES)	Es otro de los elementos importantes. Se dividen en tres partes. Estas empiezan con una forma geométrica y gira sobre ella. Luego llega al capitel y se divide en más columnas, con forma de árbol. Son 36 en total.		20	4	24
ELEMENTOS DE SUSTENTACIÓN (ARCOS)	Los arcos encontrados son principalmente hiperbólicos. Gaudí jugaba mucho con estos en todas sus obras. Se observan claramente tanto en el interior como en el exterior.		20	4	24
BÓVEDAS, CÚPULAS Y OTROS TECHOS	Las bóvedas de Gaudí son principalmente deslumbrantes. Son hiperbólicas. Se asemejan a hojas de palmera en el interior, y tienen distintos colores.		19	4	23
FACHADA	Tiene dos principales fachadas. Una con un estilo más decorado y similar al barroco, y otra más sobria y sencilla. Las puertas son representaciones de hojas y en ambas se observa la presencia de figuras naturales y de arcos hiperbólicos. Tiene ventanas de bastantes tipos y muy repetidas.	 	15	2	17
		Fotos particular	Porcentaje %: (135/160) x 100= 84.37		

La Sagrada Familia, al tener un porcentaje entre 75 y 100, se le considera un monumento naturalizado.

6.4 Posibles errores cometidos

Posibles errores del trabajo y cómo mejorarlos:

1. Aunque las rúbricas pretenden ser lo más objetivas posibles, no se puede asegurar una objetividad total ya que han sido creadas y aplicadas por una única persona, y además sobre un restringido número de monumentos. Por ello, se contempla la posibilidad de que intervengan en su aplicación práctica más personas mediante una lista de monumentos a estudiar (consultar Anexo 4), para que tras su uso y análisis por parte de otras personas se pueda evaluar la rúbrica y mejorar.
2. Como nos hemos centrado en la civilización occidental a la hora de crear las rúbricas (aunque hay algún elemento musulmán por la importancia en nuestro país y egipcio porque nos genera curiosidad) la rúbrica no es de aplicación universal. En las próximas líneas de investigación queda mencionado que se puede mejorar en estudios futuros en este sentido.
3. Como se ha explicado, a todos los elementos naturales evaluados se les ha otorgado el mismo peso y puntuación a la hora de clasificar a los monumentos como más euclídeos o más naturales. Se evaluó la posibilidad de otorgar mayor puntuación a algunos elementos que a otros en base al número de veces que aparecía o la importancia volumétrica del mismo o cualquier otro. Finalmente se optó por la opción de darles la misma puntuación ya que consideramos que en la concepción del arquitecto que hace dicho edificio, el edificio es un todo, un conjunto inseparable en el que todos los elementos suman para el fin con que es creado y no se puede dar más relevancia a uno que a otro. Este es por tanto un criterio personal y por tanto podría tener errores.

7.CONCLUSIÓN

Tras haber realizado este estudio sobre la Geometría Natural, y esta en la Arquitectura, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- El orden euclídeo rechaza a los fractales por su carácter infinito. Junto a las Geometrías no Euclídeas, también rechazadas, son las que componen la naturaleza. Por ello, se agrupan bajo la terminología de Geometría Natural. Esta consta de cinco principios relacionando la geometría con la naturaleza, que cumple con su principal objetivo: asemejarse totalmente a ella. Cumpliendo así la primera hipótesis.
- En cuanto a la segunda hipótesis se ha cumplido ya que se han analizado los componentes de la arquitectura y observado su carácter natural. Además se han recogido en unas rúbricas de ayuda visual en las que se explican el motivo de su carácter natural y luego en una rúbrica general para sintetizarla.
- La última hipótesis se ha cumplido al aplicar la rúbrica general en tres monumentos escogidos: la Alhambra de Granada, el Palacio de Carlos V y la Sagrada Familia. Dando sus porcentajes de naturalidad y ejemplificando con fotos el motivo de la clasificación.
- Los objetivos también se han cumplido, ya que se ha sintetizado las Geometrías no Euclídeas y la Fractal en la Geometría Natural. También, se han demostrado las hipótesis tras realizar la sintetización y las rúbricas, primarias y general. Por último, también se ha realizado una maqueta en honor a la reciente muerte de Frank Gehry, para sintetizar lo aprendido y hacer tributo a su memoria y obra.

Además, según lo analizado, se podría plantear, como hipótesis, pues es difícil predecirlo a ciencia cierta, una posible línea en orden natural en cuanto a qué corrientes estilísticas son más o menos naturales. He aquí dicha predicción:

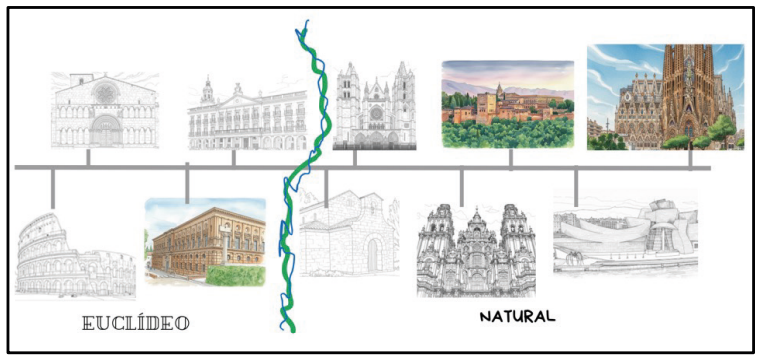


Figura 8. Predicción de línea de naturalidad de corrientes arquitectónicas
Nota. Generada por gemini.google.com.
Nota. En orden lineal y natural: romano, románico, renacentista, neoclásico, visigodo, gótico, barroco, hispanomusulmán, contemporáneo, modernista

Hasta se podría decir que se ve cierta fractalidad en la naturalidad de los estilos, ya que el posterior rechaza el anterior, volviendo al pasado, como en muchos aspectos de la cultura y sociedad. Lo que deja plantear dos preguntas: ¿serán capaces las nuevas tecnologías de romper esta fractalidad? ¿Superarán a la Sagrada Familia como mayor obra exponente de la Geometría Natural?

8. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- Comprobar la línea de naturalidad propuesta anteriormente.
- Ampliar el estudio a los monumentos de otras civilizaciones distintas a la occidental: ampliar el estudio islámico, Egipto, China, Japón, India, Incas y Mayas; civilizaciones que poseían una ciencia y arquitectura muy desarrollada y en la que se detectan a simple vista elementos de nuestra geometría.
- Creación de una IA que, utilizando las rúbricas y alimentada por fotos, permita la evaluación de los monumentos ya que el gran número de ellos a lo largo del mundo dificulta la evaluación a escala humana.
- Aplicación de este estudio de geometrías a:
  - Los distintos jardines tradicionales (tipo francés, inglés, hispano-musulmán, zen japonés…) y diseño de jardines.
  - La evolución de la pintura, desde las primeras líneas dibujadas en las cuevas hasta la abstracción actual.
  - Al campo de la artesanía, fundamentalmente aquella que sigue ciertos patrones: taracea cordobesa, repujado toledano, encaje de bolillos, atrapasueños, mandalas…y creación de patrones naturales para ellos.
- También la aplicación del conjunto de rúbricas a la maqueta tras la estructuración de un proyecto arquitectónico.
- Por último, se podría analizar otras geometrías, como el número áureo, que puedan ser incluidas en el paradigma de la Geometría Natural.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Bongiovanni, V., & Jahn, A. P. (2010). *De Euclides às geometrias não euclidianas*. *UNIÓN: Revista Iberoamericana de Educación Matemática,* 6(22).
- Brannan, D. A., Esplen, M. F., & Gray, J. J. (2011). *Geometry*. Cambridge University Press.
- Borrás Gualís, G. M., Lavado Pradinas, P., Mogollón Cano-Cortés, P., Morales, A. J., López Guzmán, R., Sorroche Cuerva, M. Á., & Stuyck Fernández Arche, S. (2019). *El arte mudéjar: La estética islámica en el arte cristiano*. Museum With No Frontiers (MWNF). ISBN 978-3902782861
- Cagigal, R., & Palacio, A. (2018). *El mosaico romano: Tecnología y práctica musivaria*. Jano. ISBN 978-84-09-02439-1.
- Cisternas, G., & Rigoberto, D. (2015). *Geometría no euclidiana*. *Revista de Educación Matemática*.
- Daza Llin, M. P. (2020). *El (des)conocimiento de los objetos fractales en el IES Guadarrama*. [Trabajo de investigación, IES Guadarrama]
- du Sautoy, M. (2011). *The Number Mysteries: A Mathematical Odyssey through Everyday Life*. St. Martin's Press.
- Enriques, F. (1954). *Los elementos de Euclides y la crítica antigua y moderna: Libros I–IV*. Publicaciones del Instituto Jorge Juan de Matemáticas, CSIC.
- Falconer, K. (1990). *Fractal geometry: Mathematical foundations and applications*. John Wiley & Sons.
- Lamúa, A. (2014). *Los secretos del infinito: 150 respuestas al enigma*. Ilus Books. ISBN 978-84-1154-026-1
- Mandelbrot, B. (1987). *Los objetos fractales: forma, azar y dimensión*. Tusquets Editores.
- Museo Nacional de Arte de Madrid. (2006). *M. C. Escher: El arte de lo imposible* (Exposición del 15 de diciembre de 2006 al 4 de marzo de 2007). Madrid: Museo Nacional de Arte de Madrid.
- Núñez, J. A. (2008). *La Alhambra de cerca*. Edilux
- Ortiz, J. R. (1994). *El concepto de infinito*. *Asociación Matemática Venezolana,* 1(2), 59–81.
- Pedoe, D. (1979). *La geometría en el arte*. Editorial Gustavo Gili.
- Plotnitsky, A. (2009). Bernhard Riemann. *In Deleuze's philosophical lineage* (pp. 190–208).
- Ranieri Panetta, M. (2004). *Pompeya: Historia, vida y arte de la ciudad sepultada*. Galaxia Gutenberg.
- Real Academia Española. (s.f.). Infinito. En *Diccionario de la lengua española*.
- Real Academia Española. (s.f.). Ilimitado. En *Diccionario de la lengua española*.
- Ramos, C. A. L., & Márquez, B. I. P. (2011). *Lecciones epistemológicas de la historia de la geometría*. *Cuestiones de Filosofía, 13, 183–211*.
- Saumells, R. (1970). *La geometría euclídea como teoría del conocimiento*. Rialp.
- Santaló, L. A. (1963). *Geometrías no euclidianas* (2.ª ed.). Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA).
- Triadó Tur, J. R., Pendás García, M., & Triadó Subirana, X. (2010). *Historia del arte*. Vicens Vives.

Líquenes bioindicadores de la contaminación del aire:

Estudio de su sensibilidad en la zona de La Jarosa (Guadarrama)

Julia Herruzo Ferrer

Tutora: Paola García Martínez

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy las gracias a Blanca y a Paco, y también a Merche y Richard por haberme ayudado tanto, dándome la posibilidad de ir a la Universidad y ofreciéndome todo lo que he necesitado y más; guiándome durante todo el trabajo, pero sobre todo porque me habéis enseñado muchas cosas.

Gracias a mi tutora Paola por su interés y por darme consejos, escucharme, introducirme al dibujo científico y por enseñarnos tantas cosas interesantes de la biología, especialmente al hablarnos de los líquenes por primera vez.

Gracias a todos mis profes por enseñarme a aprender.

Gracias al IES Guadarrama por darme la oportunidad de hacer este proyecto.

Gracias Noe por tu cariño, y gracias Carlota. Siempre estarás ahí.

Y por último, gracias a mi familia y a mis amigas por apoyarme siempre.

ÍNDICE

1. RESUMEN....266
1.1. ABSTRACT....266
2. INTRODUCCIÓN....266
2.1. JUSTIFICACIÓN....266
2.2. HIPÓTESIS....266
2.3. OBJETIVOS (generales y específicos)....267
3. MARCO TEÓRICO....267
3.1. ¿Qué son los líquenes?....267
3.1.1. El "tejido" de un liquen....267
3.1.2. ¿Cómo funciona la relación? Organismos constituyentes....267
3.1.3. ¿Por qué podría estar el hongo parasitando al alga?....268
3.1.4. Hábitat....268
3.1.5. Reproducción....269
3.1.6. Tipos....270
3.2. Líquenes como bioindicadores....271
4. METODOLOGÍA....272
4.1. Trabajo de campo....272
4.1.1. Muestreo de líquenes....272
4.1.2. Toma de datos de la calidad del aire con aparato medidor de material particulado....273
4.2. Trabajo de laboratorio....274
4.2.1. Incubación A: Análisis de fluorescencia....274
4.2.2. Incubación B: Valoración de la peroxidación de lípidos de membrana....276
5. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS....277
5.1. Trabajo de campo....277
5.1.1. Datos recogidos de líquenes y análisis de gráficos....278
5.1.2. Datos recogidos de material particulado y análisis de gráficos....282
5.2. Trabajo de laboratorio....283
5.2.1. Datos recogidos de la emisión de fluorescencia y análisis de gráficos....283
5.2.2. Datos recogidos de la peroxidación de lípidos de membrana y análisis de gráfico....287
6. DISCUSIÓN....288
7. LIMITACIONES....288
8. CONCLUSIONES....289
9. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN....289
10. BIBLIOGRAFÍA....290
11. ANEXOS....291

1. RESUMEN

Los líquenes son seres que muchas veces pasan desapercibidos. No son musgos. Ni siquiera están compuestos por un solo organismo. Los líquenes, son una **asociación simbiótica** entre un **hongo** y un **alga** o **cianobacteria**. Se encuentran en los bosques, en las rocas de los glaciares, en los desiertos, en las paredes de las casas, en lugares fríos, en lugares secos, en lugares inhóspitos para la vida… Se han llevado incluso al espacio… y han sobrevivido.

Sin embargo, a pesar de su resistencia a todo tipo de ambientes extremos, tienen un punto débil: son muy **sensibles a la contaminación del ambiente**. Es por ello que son excelentes bioindicadores de la calidad del aire. En este proyecto se han estudiado los líquenes de dos formas: como bioindicadores de la calidad ambiental en la zona de La Jarosa (Guadarrama) y analizando su sensibilidad frente a un contaminante en condiciones controladas en un laboratorio.

En el entorno natural, se seleccionaron tres zonas a distintas distancias de una carretera, principal fuente de contaminación, planteando que a mayor distancia habría más abundancia y diversidad de líquenes. En laboratorio, se seleccionaron unos líquenes y se expusieron a diferentes concentraciones de un contaminante, con el fin de comprobar si las especies más expuestas se verían más afectadas con el tiempo.

Los resultados obtenidos permitieron **corroborar la utilidad de los líquenes como bioindicadores**, demostrando diferencias en abundancia y diversidad en función de la distancia a la fuente de contaminación. Por otro lado, los líquenes evidenciaron variaciones en su estado fisiológico según la concentración del contaminante en condiciones de laboratorio.

Palabras clave: *líquenes, bioindicadores, calidad del aire, muestreo, partículas PM10, partículas PM2.5.*

1.1. ABSTRACT

Lichens are organisms that often go unnoticed. They are not mosses. They are not even made up of a single organism. Lichens are a **symbiotic association** between a **fungus** and an **alga** or **cyanobacterium**. They can be found in forests, on glacier rocks, in deserts, on house walls, in cold places, in dry places, in inhospitable environments for life… Lichens have even been taken to space… and they have survived.

However, despite their resistance to all types of extreme environments, they have a weak point: they are very **sensitive to environmental pollution**. This is why they are excellent bioindicators of air quality. This project studied lichens in two ways: as bioindicators of environmental quality in the area of "La Jarosa" (Guadarrama) and by analyzing their sensitivity to a pollutant under controlled laboratory conditions.

In the natural environment, three areas were selected at different distances from a road, the main source of pollution, proposing that a greater distance would result in higher lichen abundance and diversity. In the laboratory, some lichens were selected and exposed to different concentrations of a pollutant in order to test if the most exposed species would be more affected over time.

The results obtained **confirmed the use of lichens as bioindicators**, showing differences in abundance and diversity depending on the distance from the pollution source, as well as variations in their physiological state of the lichens according to the concentration of the pollutant under laboratory conditions.

Keywords: *Lichens, Bioindicators, Air quality, Sampling, PM10 particles, PM2.5 particles.*

2. INTRODUCCIÓN

2.1. JUSTIFICACIÓN

La contaminación del aire es un gran problema en la actualidad, causado principalmente por la actividad humana. Afecta a todos los seres vivos, incluídas las personas, quienes podemos desarrollar, por ejemplo, enfermedades respiratorias. En consecuencia, es urgente conocer su estado y gracias a los líquenes, fiables bioindicadores, se pueden realizar estudios sencillos y baratos que reflejen la calidad en el ambiente. El presente trabajo trata de corroborar dicha utilidad, para así comprender y visibilizar su sensibilidad, contribuir a su protección y potenciar el uso de estos organismos por el bien de la salud de las personas, que depende de la del planeta.

2.2. HIPÓTESIS

Dado que la exposición a contaminantes atmosféricos influye de manera negativa en los líquenes, una menor pre-

sencia de contaminantes, ya sea en el ambiente natural o en condiciones controladas de laboratorio, se asociará con una mayor abundancia, mayor diversidad y mejor estado fisiológico de distintas especies de líquenes.

2.3. OBJETIVOS

Para corroborar la hipótesis ya mencionada, se plantearon los siguientes objetivos generales:

Evaluar la utilidad de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en el entorno natural y también observar su estado fisiológico al exponerlos a un contaminante en condiciones controladas de laboratorio.

Y otros más específicos:

a) Analizar la abundancia y diversidad de especies de líquenes en diferentes zonas de La Jarosa (Guadarrama) dependiendo de su distancia a la fuente de contaminación.

b) Evaluar la sensibilidad de distintas especies de líquenes frente a un contaminante bajo condiciones controladas de laboratorio, midiendo los cambios en su estado fisiológico (como la emisión de fluorescencia o la absorbancia) en relación con la cantidad de contaminante y el tiempo de exposición.

c) Corroborar el valor de los líquenes como bioindicadores ambientales, integrando los resultados del estudio de campo y de laboratorio, visibilizando la importancia de proteger estos organismos por la salud del planeta y las personas.

d) Profundizar en el estudio de la morfología de los líquenes mediante la realización de algún dibujo científico de las especies principales con las que se ha trabajado, el análisis de estructuras bajo el microscopio y mediante la observación durante las salidas al campo y los muestreos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. ¿Qué son los líquenes?

Los líquenes son organismos formados por una asociación simbiótica entre un hongo (denominado *micobionte*) y un organismo fotosintético (denominado *fotobionte*), que puede ser un alga y/o una cianobacteria (Casares, s.f.). Al unirse, la estructura que forman se conoce como liquen.

- Cuando se observa un liquen…

El micobionte, normalmente de división *Ascomycota* [1] (Macronaturaleza 2019), forma la mayor parte del cuerpo vegetativo (el talo). En otras palabras, al mirar un liquen, lo que estamos viendo principalmente es el hongo (las hifas concretamente).

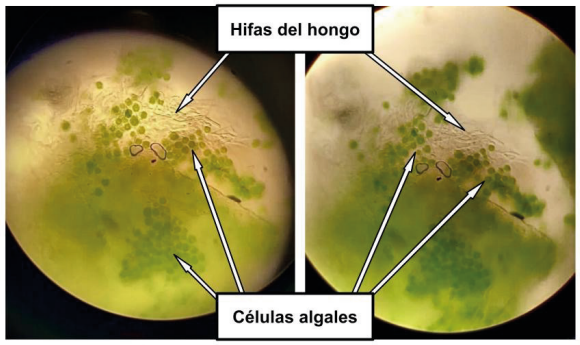


Figura 1: Dos imágenes tomadas durante la observación al microscopio de la especie *Platismatia* glauca.
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el fotobionte es microscópico: se trata de células algales o cianobacterias entre esas hifas que dan la estructura visible. (Cubas, Núñez, Crespo, & Divakar, s. f.)

3.1.1. El "tejido" de un liquen

Según Macronaturaleza (2019) los líquenes no llegan a formar verdaderos tejidos, sino que los simulan. Estos "tejidos falsos" se conocen como *plecténquimas*. Según Ediciones Universidad de Salamanca (s. f.), *plecténquima*, m. (Bot.) "Talo propio de hongos y algas que se presentan como aglomeraciones pluriestratificadas de células entrelazadas que recuerdan la estructura de un tejido".

3.1.2. ¿Cómo funciona la relación? Organismos constituyentes

Los líquenes están formados por diversos organismos integrados en una unidad morfológica (como se ha explicado en el apartado anterior) y metabólica, como se verá a continuación:

a) El fotobionte (microalga o cianobacteria)

Es autótrofo, siendo capaz de elaborar nutrientes y materia orgánica (mayoritariamente hidratos de carbono) a partir de sustancias inorgánicas como CO_2 y H_2O. (Macronaturaleza, 2019)

1 También puede haber Basidiomicetos y algunos Deuteromicetos.

b) El micobionte (hongo)

Es heterótrofo, no pudiendo producir su propia materia orgánica (la debe consumir ya sintetizada).

No obstante, tiene la capacidad de ofrecer un entorno favorable al fotobionte ya que le da las condiciones necesarias para que se pueda hacer la fotosíntesis. Por ejemplo:

- Ayuda a mantener la hidratación del fotobionte.
- Permite el paso del CO_2 hacia el fotobionte y facilita la salida del oxígeno producido por éste.
- Protege al alga de la radiación solar excesiva.

(Cabral, Judkevich, Medina & Salas, s. f.)

La asociación tiene lugar, por tanto, ya que el alga cede al hongo sus excedentes de materia orgánica (el alga da el "alimento") y el hongo brinda al alga protección (el hongo ofrece el lugar donde vivir). Además, existen otros microorganismos que forman los líquenes (véase *Anexo 1*).

3.1.3. ¿Por qué podría estar el hongo parasitando al alga?

Urry *et al*. (2021, p. G32) afirman que una relación simbiótica es "una relación ecológica entre organismos de dos especies diferentes que viven juntos en contacto íntimo y directo" [2].

Es decir, una relación simbiótica es una interacción entre dos o más organismos diferentes que pueden convivir de distintas maneras. Cuando ambos miembros obtienen un beneficio, se considera una relación mutualista. También existen relaciones simbióticas entre organismos donde uno sale perjudicado. En esos casos, se denomina parasitismo.

Los líquenes siempre se han considerado simbiontes mutualistas.

No obstante, recientes estudios [3] abren debate sobre si, en realidad, se trata de una relación parasitaria pero "leve" o ***parasitismo controlado*** por parte del hongo. Los principales argumentos son los siguientes:

1) El fotobionte **no puede reproducirse sexualmente** (a diferencia del micobionte), lo que genera poca variabilidad en su genoma. (Cabral, Judkevich, Medina, & Salas, 2019, como se citó en Chaparro de Valencia 2002)
2) El micobionte, que se nutre de las sustancias orgánicas que le brinda el fotobionte, suele aprovechar saprofíticamente e incluso parasitar también sus células muertas, muchas veces mediante **haustorios**. (Cabral, Judkevich, Medina, & Salas, 2019, como se citó en Chaparro de Valencia 2002). Según Asturnatura (s.f.), los haustorios son "estructuras u órganos chupadores, que aparecen en hongos, briófitos y plantas vasculares con la intención de adquirir sustancias nutritivas del organismo que parasitan".
3) Hasta la mitad del carbono que fija el fotobionte se transforma directamente en azúcares para el micobionte, a los que **ya no puede acceder el fotobionte**. (The British Lichen Society, s. f.)
4) En muchos casos, **el micobionte no puede sobrevivir libremente**, lo que significa que solamente se puede encontrar en la naturaleza en estado liquenizado pero nunca como hongo únicamente. Los fotobiontes, por el contrario, sí que pueden encontrarse sin asociarse en la naturaleza. Por ejemplo, Hametner, Stocker-Wörgötter, & Grube (2014, pp. 31-40) afirma que "Las algas verdes aéreas de Trentepohliaceae pueden formar colonias visibles de vida libre [...] o fotobiontes de ascomicetos formadores de líquenes".

Por todo ello, se considera una relación parasitaria pero "leve", o *parasitismo controlado*. Como consecuencia, cada vez se prefiere hablar más de "hongos liquenizados" que de líquenes. (Macronaturaleza, 2019)

3.1.4. Hábitat

Nota: Información obtenida de la guía en papel de Hans Martin Jahns (pp.23-31) y de las citas que aparecen dentro del apartado.

Junto con las briófitas, los líquenes **son los primeros colonizadores**. Esto quiere decir que en ambientes donde no hay vida, son los primeros en aparecer. Esto es posible gracias a que no necesitan cantidades excesivas de agua ni de nutrientes, y a su gran soporte a la radiación solar y condiciones extremas de temperatura. (Richard A. Armstrong, 2017)

---

2 "An ecological relationship between organisms of two different species that live together in direct and intimate contact".

3 Estas son las citas de algunos estudios, aparecen completos también en la bibliografía: (Apelt & Liebscher, 2025) y (Cabral, Judkevich, Medina, & Salas, s. f.).

Un ejemplo de esto es lo que ocurre con los líquenes que aparecen en los escoriales volcánicos, lugares sin vida. (Ente Parco Nazionale del Vesuvio, s. f.) Ellos van formando el suelo, el sustrato, que luego podrá albergar especies vegetales o de microorganismos, por lo que su función es vital en el ecosistema.

Otro caso de líquenes en lugares extremos sería el de los que habitan los bosques boreales y tundras, que llegan a temperaturas por debajo de los -50ºC en invierno, y que son la principal fuente de alimento de los renos. (Inga, 2009)



Figura 2: Renos (caribúes, especie *Rangifer tarandus*) alimentándose de líquenes epífitos. **Fuente:** Estudio de Turunen & Vuoja-la-Magga,

Así pues, los líquenes se hallan en **todas las áreas del planeta**, desde entornos totalmente naturales (en zonas desérticas, los trópicos, bosques, zonas polares o incluso zonas marinas), hasta áreas urbanas, como las ciudades.

Normalmente crecen en **sitios poco deseables para otras especies**, como suelos áridos, la corteza de los árboles, la superficie de las rocas, etc. (Richard A. Armstrong, 2017)



Figura 3: Fotografía de Asunción de los Ríos. Líquenes creciendo en lavas de Islandia. **Fuente:** Museo Nacional de Ciencias Naturales – CSIC, 2022

No obstante, para que todas estas adaptaciones fisiológicas sean posibles, entra en juego un factor importante: su **capacidad para pasar a un estado de vida latente**.

Los líquenes se pueden deshidratar con mucha facilidad, deteniendo así la respiración celular y la fotosíntesis. Esto se debe a que no tienen cutícula protectora (como sí tienen los musgos) ya que el talo contiene sustancias gelatinosas, que no ofrecen resistencia a la deshidratación ni a la recuperación del agua [4].

3.1.5. Reproducción

Nota: Información obtenida de la guía en papel de Hans Martin Jahns (pp.23-31) y de Macronaturaleza (2019).

Aunque los líquenes se pueden reproducir sexualmente, suele ser más común realizar una dispersión conjunta de ambos miembros de la simbiosis mediante un tipo de reproducción asexual llamada reproducción vegetativa.

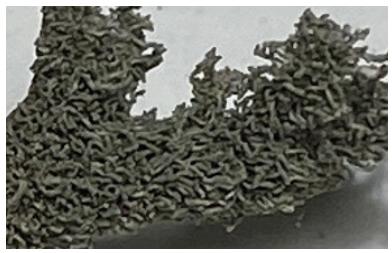
La forma más común es mediante *fragmentación*. Para ello, el liquen se rompe en trozos que se dispersan y continúan creciendo como nuevos individuos.

Esto se suele producir de manera casual, ya que cuando el liquen se seca, se vuelve muy quebradizo y a la mínima que lo afecte un factor externo (el viento, el paso de una persona, etc) se romperá en trozos dispersables.

Por otro lado, también se pueden reproducir asexualmente mediante **estructuras especializadas** capaces de contener células de ambos organismos:

- Los *isidios* son estructuras pequeñas que salen en el talo y que contienen en el interior tanto hifas fúngicas como algas mezcladas. Pueden adoptar distintas formas, y se desprenden mecánicamente para propagarse.





Figuras 4 y 5: Trozo de Pseudevernia furfuracea y su aumento, para observar los isidios (las rugosidades). **Fuente:** Elaboración propia.

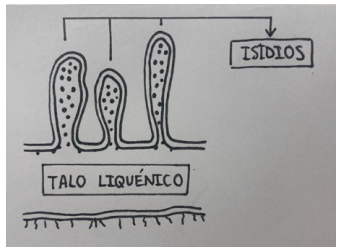


Figura 6: Dibujo esquemático de isidios. En su interior, las esporas.
Fuente: Elaboración propia.

4 Para conocer algunos ejemplos de líquenes que pueden pasar a un estado de vida latente, consultar el *Anexo 1*.

- Los *soralios* se encuentran en la superficie del talo formando masas pulverulentas. Son pequeños orificios en el córtex, que permiten la liberación de unos gránulos (formados por células del fotobionte rodeadas de hifas fúngicas) llamados *soredios*.

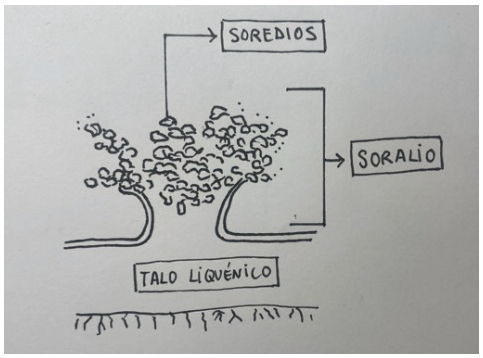
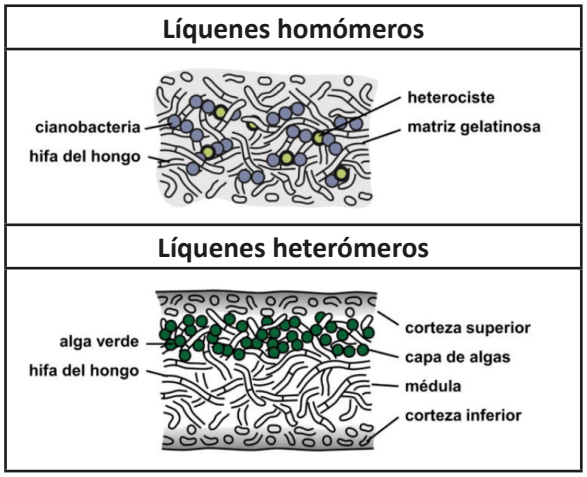


Figura 7: Dibujo esquemático de un soralio.
Fuente: Elaboración propia

3.1.6. Tipos de líquenes

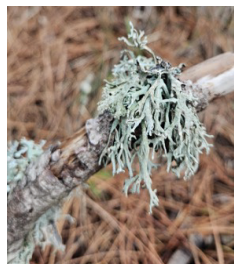
a) Según la estructura del talo (Macronaturaleza, 2019)



Fuente de las imágenes: Piepenbring, 2015, Wikimedia Commons.

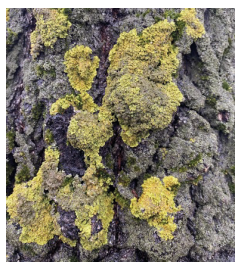
- **Líquenes homómeros:** El fotobionte es una cianobacteria. El liquen no está estructurado, así que la cianobacteria está homogéneamente dispuesta en el cuerpo vegetativo.
- **Líquenes heterómeros:** Son los más comunes. El fotobionte es un alga. Casi todos los tejidos estructurales los forman las hifas del hongo, dispuestas en capas: (corteza superior, médula y corteza inferior). Las células algales están dispuestas en una capa bajo la corteza superior, llamada *capa gonidial*.

b) Según su crecimiento (Cabral, Judkevich, Medina, & Salas, 2019)

		
Foliáceos: La figura muestra un liquen foliáceo del género *Parmelia*. **Fuente:** Elaboración propia.	**Fruticulosos:** La figura muestra la rama de un pino con un liquen fruticuloso, especie *Pseudevernia furfuracea*. **Fuente:** Elaboración propia.	**Crustáceos:** La figura muestra un liquen crustáceo, especie *Rhizocarpon geographicum*. **Fuente:** Elaboración propia.

- **Foliáceos:** Talo heterómero. Solo se unen parcialmente al sustrato. Crecen de forma lobulada y laminar.
- **Fruticulosos:** Talo heterómero. Forma de "pequeños arbustos". Tamaño variable. Erectos o colgantes.
- **Crustáceos:** Talo homómero. La mayoría compuestos por pequeñas escamas llamadas *areolas*. No tienen córtex interior, y están fuertemente adheridos al sustrato.

c) Según el sustrato sobre el que crecen (Cabral, Judkevich, Medina, & Salas, 2019)

		
Epífitos: En la corteza de los árboles o arbustos. **Fuente:** Elaboración propia.	**Saxícolas:** En las rocas. Las deshacen mecánica y químicamente. **Fuente:** Elaboración propia.	**Terrícolas:** Sobre el suelo. Influye mucho el pH de éste. **Fuente:** (MYCO-UAL, s.f)
Liquenícolas: Crecen sobre otros líquenes.	**Musícolas** Crecen sobre musgo.	**Folícolas** Crecen sobre hojas.

3.2. Líquenes como bioindicadores:

Los líquenes se utilizan por el ser humano por su poder antibiótico, también para fijar perfumes, usarlos como colorante, como veneno o incluso como alimento. (Carlos Illana, 2016) y (San-Matías Marín, s. f.).



Figura 8: Himantormia lugubris, especie con la que se está investigando por su potencial uso contra bacterias con resistencia antibiótica.(Villanueva Martínez, 2016)
Fuente: Estudio de Sancho et al. (2020).

No obstante, cada vez está más extendido uso como bioindicadores ambientales. Pero… ¿Por qué?

a) Dependencia directa del ambiente y ausencia de sistema excretor

Los líquenes absorben directamente del aire y del agua de lluvia todos los elementos necesarios para su metabolismo. Sin embargo, al no tener raíces ni mecanismos que regulen el proceso, con ello también recogen contaminantes atmosféricos como dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NOx), metales pesados y partículas en suspensión (Mares Rueda, 2017). Según Asta (2025), todo ello queda atrapado entre los micelios, y los ácidos liquénicos [5] fijan los contaminantes. Al **no presentar un sistema excretor**, dichos contaminantes se quedan en el liquen, **acumulándose**.

Esas toxinas pueden acabar **alterando sus procesos fisiológicos** como la fotosíntesis o su crecimiento (entre otros), o directamente pueden matarlos. (San-Matías Marín, s. f.).

b) Estudio de las consecuencias de su sensibilidad

Gracias a su sensibilidad, es posible estudiar las respuestas de los líquenes a ambientes contaminados. Es decir, se pueden **establecer patrones de abundancia, presencia y ausencia** en relación con la calidad del aire.

Además, gracias a su capacidad de bioacumulación, es posible analizar los líquenes químicamente, evaluando del mismo modo la composición del aire con el que han estado en contacto (su nivel de contaminación). Así lo explican textualmente Conti y Tudino (2016, p. 120, apartado 2). "Biomonitoring studies assume that the concentrations of heavy metals determined in lichens reflect proportionally their presence in the atmospheric surrounding environment [6]."

c) Amplia distribución geográfica

Los líquenes se encuentran en una gran variedad de ecosistemas y condiciones climáticas. Gracias a esto, es posible **comparar distintas regiones del planeta** (como por ejemplo áreas industriales vs naturales, o rurales vs urbanas), estandarizando el monitoreo con líquenes y estableciendo una base a partir de la que se podrán realizar estudios más adelante.

d) Monitoreo barato, sencillo, útil y fiable

El uso de líquenes como bioindicadores **no requiere equipamientos caros ni procedimientos complejos o demasiado técnicos**. Esto, añadido a que son organismos sésiles y que permanecen igual durante todas las estaciones del año (Asta, 2025), facilita su uso. Los datos recogidos se pueden relacionar con los obtenidos de forma instrumental. Estos últimos informan de la cantidad de contaminante que hay en el ambiente de forma puntual, pero los de los líquenes añadirían los efectos que esto conlleva en el entorno natural. (Irene Mares Rueda, 2017) y (Rangel Osornio & Gómez Peralta, s. f.).

En definitiva, su uso como bioindicadores permite no solo detectar la presencia de contaminantes, sino también medir sus efectos sobre los ecosistemas a largo plazo, aportando información y evidencias a estudios relacionados con el ambiente, como los de enfermedades respiratorias. (Cislaghi, C., Nimis, P. , 1997)

---

5 Son un grupo diverso de metabolitos secundarios (compuestos químicos) que dan color al talo del liquen con funciones protectoras y antivirales. (Barreno & Pérez Ortega, 2003)

6 "Los estudios de biomonitoreo asumen que las concentraciones de metales pesados determinadas en los líquenes reflejan proporcionalmente su presencia en el entorno atmosférico circundante."

4. METODOLOGÍA:

Este proyecto está dividido en dos partes, que se corresponden con las dos formas con las que se han estudiado los líquenes: como bioindicadores de la calidad ambiental en el entorno natural (trabajo de campo) y estudiando su sensibilidad frente a un contaminante en condiciones controladas (en un laboratorio). En la discusión se integrarán los resultados de ambas partes.

4.1. TRABAJO DE CAMPO:

Para poder determinar que los líquenes son buenos bioindicadores, se trató de comprobar si **realmente la contaminación les afecta en el entorno natural**. Esto se puede comprobar observando su presencia o ausencia, y la diversidad de especies presentes. Para ello, se buscó un buen lugar de estudio, en el que hubiera una fuente de contaminación y distintas zonas con líquenes a diferentes distancias de la fuente. Además, se debían cumplir los siguientes requisitos:

a) Que la fuente produjera contaminación notable y de forma contínua (como una carretera principal).
b) Que las distintas zonas fueran parecidas entre sí (para eliminar variables extrañas que quitaran veracidad al estudio).
c) Que los líquenes allí presentes estuvieran muy expuestos al ambiente, es decir, que los líquenes fueran preferiblemente epífitos [7] .

Por otro lado, se realizó una **recogida de datos de la calidad del aire** durante algunos días en las distintas zonas **mediante aparatos medidores** para así contrastar y verificar que efectivamente, la distancia a la carretera influía en la contaminación de las zonas.

4.1.1. Muestreo de líquenes

1) MATERIALES:



1) Cinta métrica
2) Guía de líquenes
3) Gradilla transparente de 20x20cm (en la imagen está sobre un papel verde para que se vea la cuadrícula)
4) Chinchetas
5) Brújula
6) Libreta

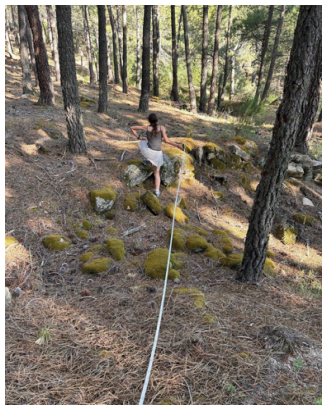
2) El área de estudio se localiza en el entorno de La Jarosa (Guadarrama, Madrid) al oeste del km 51 de la AP-6. Se determinaron tres zonas de estudio a distintas distancias de la carretera, que se consideró fuente emisora principal de contaminación. (Véase *Anexo 2* para más información).



Figura 9: Plano aéreo con las zonas marcadas en rojo. En amarillo a la derecha la AP-6. **Fuente:** Elaboración propia a partir de Google Maps.

3) Se eligieron ocho árboles *(Pinus pinaster)* al azar en cada parcela de 20x20m.





Figuras 10 y 11: Midiendo con el metro la parcela de 20x20m. **Fuente:** Elaboración propia.

7 Líquenes que crecen en árboles.

4) Se posicionó una gradilla transparente de 20x20cm en la cara norte de cada árbol y a una altura de 1,50m. La gradilla, dividida en 400 cuadrados de 1x1 cm, permitió contar el número total de cuadrados que mostraban líquenes detrás en el árbol para posteriormente calcular el porcentaje de cobertura resultante. Es decir, si se contaban un total de 225 cuadrados que presentaban líquenes detrás y hay un total de 400 cuadrados, entonces se consideró que había un 56,25% de cobertura liquénica en dicho árbol ya que $225/400 \times 100 = 56{,}25\%$. Si los 400 cuadrados presentaban líquenes detrás, entonces la cobertura liquénica total del árbol sería del 100%.



Figura 12: Justificación cara norte.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 13: Árbol a 1'50m.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 14: Gradilla en árbol.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 15: Gradilla en árbol y líquenes detrás
Fuente: Elaboración propia.

Así se midió:

a) La cobertura liquénica de cada especie en esa gradilla.

b) La suma de las coberturas de cada especie (la cobertura liquénica total).

5) También se tomaron otros datos, como el diámetro del tronco del árbol a 1,50m y la distancia al árbol más cercano.



Figura 16: Midiendo el perímetro para sacar diámetro.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 17: Midiendo distancia al árbol más cercano.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Toma de datos de la calidad del aire con aparato medidor de material particulado

Para contrastar los resultados obtenidos del muestreo de líquenes, se realizó una recogida de datos de la calidad del aire en las tres zonas durante siete días [8] entre las 18:00 y las 20:00 h. Para ello se hizo uso de un medidor [9] de material particulado (contaminantes atmosféricos en forma de partículas suspendidas en el aire) y se apuntaron los µg/m3 de partículas de tipo PM2.5 (humo, hollín, metales, combustibles…) y de tipo PM10 (algo más grandes que las primeras, como polvo, polen, cenizas…), así como Nº total de partículas por litro. Se siguió el siguiente protocolo:

1) Al llegar a la zona se encendió el medidor y se esperó hasta que diera la señal para comenzar a medir.
2) Se esperó entre 5 y 10 minutos por zona, y siempre se apuntaron los valores máximos.
3) Ésto se repitió en las tres zonas, durante los siete días.



Figura 18: El medidor en el bosque, con datos de los tres parámetros en un momento determinado.
Fuente: Elaboración propia.

8 14, 15, 17,18, 21, 25 y 27 de septiembre de 2025.
9 Modelo Temtop LKC-1000S+2ND Detector de Calidad del Aire Monitor de Formaldehído para Interiores y Exteriores HCHO / PM2.5 / PM10 / TVOC.

4.2. TRABAJO DE LABORATORIO

Consistió en realizar dos incubaciones de líquenes para analizar un parámetro distinto en cada una, ambos parámetros indicadores de perjuicio en los líquenes. Las incubaciones se realizaron a distintos gradientes de concentración del contaminante *cloruro de cobre* ($CuCl_2$).



Figura 19: *Evernia prunastri, Pseudevernia furfuracea y Platismatia Glauca* respectivamente. **Fuente:** Elaboración propia.

-Incubación A: De tres especies distintas (se muestran en la Figura 19). Luego se realizó un análisis de la emisión de fluorescencia.

-Incubación B: De dos especies distintas (las dos más abundantes de la Figura 19). Luego se realizó una valoración de lípidos de membrana.

Se eligió el $CuCl_2$ siguiendo el protocolo, ya que:

1. El Cu^+ es un metal pesado, muy tóxico para los líquenes, así que es un buen análogo de contaminación real.
2. El $CuCl_2$ es una sal soluble y fácil de dosificar, de modo que se pudo controlar la cantidad de la dosis y ésta se añadió de forma fácil y efectiva.

4.2.1. Incubación A: ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA

- **¿En qué se fundamenta el análisis?** [10]

Cuando los organismos fotosintéticos hacen la fotosíntesis, no absorben el cien por cien de la luz que reciben. La que sobra, se libera de distintas formas; entre ellas, en forma de fluorescencia. Cuando un organismo está dañado, la cantidad de fluorescencia liberada baja.

Usando un fluorímetro, se puede determinar la fluorescencia máxima (Fm), la fluorescencia mínima (F0) y la fluorescencia variable (Fv); así como la relación Fv/Fm que indica la eficiencia del fotosistema II (PSII).

Para ello, lanza un fogonazo de luz al organismo fotosintético, y luego se mide la fluorescencia reemitida por este, permitiendo ver "cómo de dañado" está el organismo (LabFerrer, s. f.). Es decir, a menor fluorescencia liberada, más dañado. Cuanto más dañado, más perjudicado por el contaminante.



Figura 20: La bolsa de papel con *Pseudevernia* recién recogida del pino de la derecha. **Fuente:** Elaboración Propia.

- **Muestreo:**

Los líquenes se recogieron por la zona de la Jarosa, Guadarrama (no necesariamente de las parcelas del trabajo de campo). Se introdujeron en bolsas de papel para ser transportadas al laboratorio.

Recordatorio: El análisis de fluorescencia se realizó en 3 especies: *Pseudevernia furfuracea, Platismatia glauca* y *Evernia prunastri*. Esto se debe a que se encontraban en gran abundancia en el bosque, eran de fácil recolección y eran epífitos (al igual que todos los líquenes estudiados en el trabajo de campo, lo que permitiría integrar las conclusiones de ambas partes del proyecto). A continuación se muestran los dibujos realizados durante los días de muestreo:



10 Se siguió el protocolo "OJIP test" (Strasser, Srivastava, &Tsimilli-Michael, 2000).



Figuras 21, 22 y 23: Dibujos científicos de las tres especies con las que se estuvo trabajando, realizados durante los días de muestreo, con el fin de comprender su morfología. Sus nombres se encuentran en la propia ilustración.
Fuente: Elaboración propia.

- **Incubación**

-Primero se lavaron los líquenes de las tres especies.



Figura 24: *Platismatia glauca* siendo lavada.
Fuente: Elaboración propia

-Como se ve en la Figura 25, las incubaciones se llevaron a cabo en nueve placas Petri (6cm de diámetro).

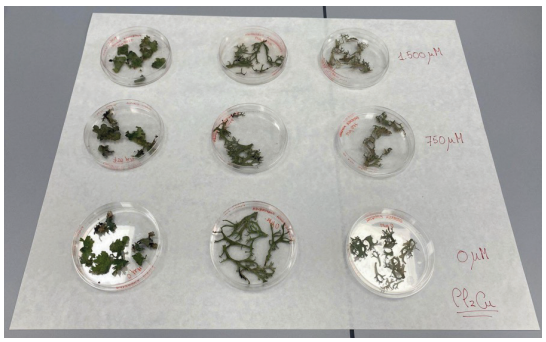


Figura 25: Las nueve placas usadas, con los líquenes.
Fuente: Elaboración propia.

-En cada placa se pusieron 40mg de liquen, (peso húmedo). Como se ve en la Figura 25, las tres placas de la izquierda contenían *Platismatia glauca*, las tres del medio (en vertical) contenían *Pseudevernia furfuracea* y las tres de la derecha contenían *Evernia prunastri*.



Figura 26: Añadiendo el contaminante. **Fuente:** Elaboración propia

-Luego se añadieron 2ml de disolución de CuCl2 por placa a distintos rangos de concentración. Como se ve en la Figura 26, en las tres placas superiores se dosificó la disolución más concentrada (a 1500µM), en las tres placas del medio (en horizontal) se echó la disolución de concentración media y en las tres placas inferiores se echó disolución de concentración nula (0µM), es decir, agua destilada para tener grupos de control. Este proceso se repitió una vez al día durante los cinco días.

-Las placas se mantuvieron semicerradas a temperatura ambiente.

- **Mediciones:**

Una vez al día durante cinco días se midió la emisión de fluorescencia utilizando un fluorímetro portátil *PEA (Plant Efficiency Analysis, Hansatech)*.

La primera medición se realizó a tiempo 0h, es decir, el día que se preparó el experimento. Para ello, se tomaron tres muestras de liquen de cada placa. Cada una se sujetó con una pinza del fluorímetro, dejando tapado 15 min (en oscuridad) el hueco por el que se midió la fluorescencia.



Figura 27: 3 trozos de talo de *Evernia prunastri* pinzados y tapados para posterior medición. **Fuente:** Elaboración propia.

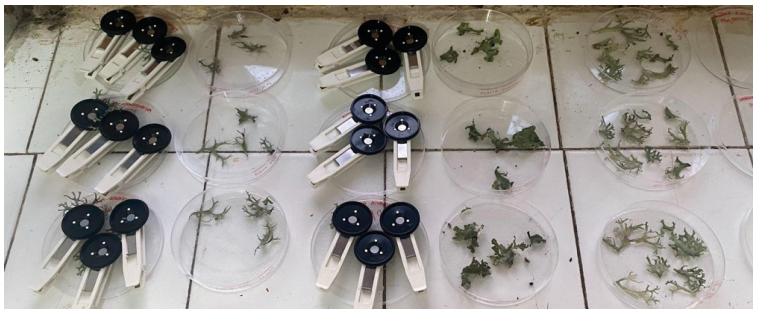


Figura 28: *Pseudevernia furfuracea* y *Platismatia Glauca* preparadas para medir. **Fuente**: Elaboración propia.



Figura 29: En la mano, fluorímetro. Debajo, muestras preparadas para medir. **Fuente:** Elaboración propia.

4.2.2. Incubación B: VALORACIÓN DE LA PEROXIDACIÓN DE LÍPIDOS DE MEMBRANA

- **¿En qué se fundamenta el análisis?** [11]

Cuando un liquen se somete a un contaminante, como es el caso del $CuCl_2$ (sal con metal pesado), éste activa reacciones químicas dentro del organismo. Ésto forma especies reactivas de oxígeno (ROS) que quieren reaccionar con todo lo que encuentran, especialmente con los lípidos de la membrana de las células, dañándolas.

Como resultado, los lípidos se transforman en nuevas moléculas, y con ello se generan subproductos como el malondialdehído (MDA). Éstos subproductos son signos del daño que ha causado el contaminante; es decir, *cuanto más MDA se forme, más se ha dañado la membrana de las células del liquen y más se ha visto éste perjudicado por el contaminante*.

Por lo tanto, hallando la cantidad de MDA formado, se podrá determinar cómo de dañado está el liquen. Para hallarla, se debe aplicar un reactivo llamado TCA (ácido tiobarbitúrico) que reacciona con el MDA produciendo un color rosado. Cuanto más rosa la reacción, más MDA hay, y más dañado está el liquen. El ojo humano, sin embargo, no puede determinar "cómo de rosa" es la reacción de forma precisa, así que se hace uso de un *espectrofotómetro*.

Un espectrofotómetro es un aparato que hace pasar luz de una longitud de onda específica a través de una disolución, y mide qué cantidad de luz es absorbida por la mezcla. Si la mezcla es de un color rosa muy intenso porque el TCA ha reaccionado con mucho MDA, el espectrofotómetro detectará que se absorbe mucha luz. A mayor luz absorbida, más dañado está el liquen.

En definitiva, mediante este experimento *se recogieron unos datos de absorbancia* [12] *detectados por el espectrofotómetro, que determinaron cómo de dañados estaban los líquenes sometidos al* $CuCl_2$.

- **Muestreo:**

Se realizó de la misma manera que se explica en el apartado *4.2.1*.

Recordatorio: La valoración de la peroxidación de lípidos de membrana se realizó en 2 especies: *Pseudevernia furfuracea* y *Platismatia glauca* (elegidas por las mismas razones explicadas en muestreo del apartado 4.2.1.).

- **Incubación:**



-Primero se lavaron los líquenes de las dos especies (Figura 30).

Figura 30: Líquenes siendo lavados con agua. **Fuente:** Elaboración propia

11 Se siguió el ensayo TBARS (Thiobarbituric Acid-Reactive Substances) de acuerdo con el protocolo descrito por Kovácik et al. (2006).
12 La absorbancia se mide en densidad óptica (DO).

-Como se ve en la Figura 31, las incubaciones se llevaron a cabo en seis placas Petri (6cm de diámetro). En cada placa se pusieron 40mg de liquen (peso húmedo). En la Figura 31 observamos que las tres de la izquierda contenían *Pseudevernia furfuracea* y las tres de la derecha contenían *Platismatia glauca*.

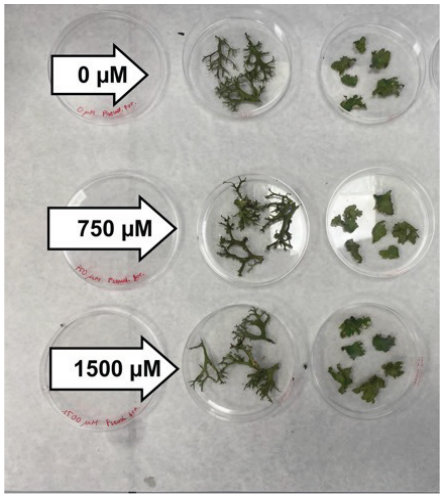


Figura 31: Las seis placas con los líquenes. En la imagen se muestran las concentraciones.
Fuente: Elaboración propia.

-Luego se pipetearon 2ml de disolución de CuCl2 por placa a distintos rangos de concentración.

-Como se ve en la Figura 31, en las dos placas superiores se pipeteó la disolución de concentración nula (0µM), es decir, agua destilada; en las dos del medio se echó la disolución de concentración media (750µM) y en las dos placas inferiores se echó la disolución más concentrada (a 1500µM). Las placas se mantuvieron semicerradas a temperatura ambiente.

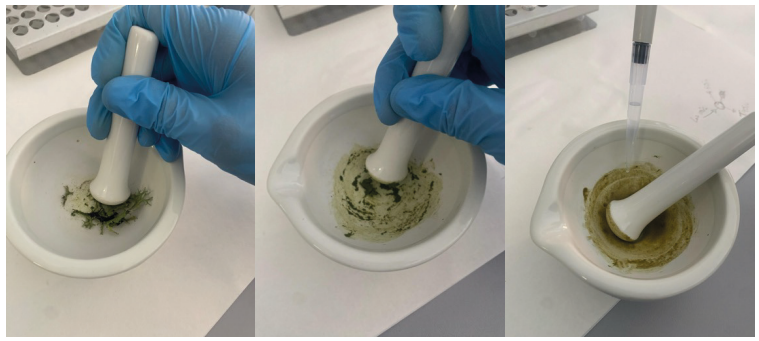
-El proceso se repitió dos veces. La primera vez a tiempo 0h (cuando se preparó el experimento) y la segunda vez el día siguiente, a tiempo 24h.

- **Mediciones:**

A las 48 h se analizó la peroxidación de lípidos de membrana, que determina el estrés oxidativo del alga y del hongo. El proceso fue el siguiente:

-Primero se lavaron bien todos los líquenes.

-Luego se tomaron 30 mg (peso húmedo) de *Platismatia glauca* (1500µM) y se maceraron en un mortero con 3,0 mL de TCA.



Figuras 32 y 33: Proceso de ruptura del plecténquima de *Pseudevernia furfuracea*, tratando de romperlo al máximo.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 34: Añadiendo los 3,0mL de TCA.
Fuente: Elaboración propia.

-El liquen macerado con TCA se centrifugó a 12.000 rpm durante 12 minutos.

-Sobre 1,5 mL del sobrenadante obtenido se añadieron 1,5 mL de TCA al 10%(p/v) conteniendo ácido tiobarbitúrico al 0,6% (p/v).

-La mezcla se incubó a 90ºC durante 30min y fue enfriada inmediatamente después.



Figura 35: Mezcla siendo incubada a 90ºC.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 36: Mezcla siendo enfriada en hielo tras 30 minutos de incubación.
Fuente: Elaboración propia.

-Finalmente se midió la absorbancia del sobrenadante a 532 nm con un espectrofotómetro y se corrigió para la absorción inespecífica a 600nm.

5. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS

5.1. TRABAJO DE CAMPO

Tras realizar todas las mediciones descritas en la metodología, los datos recogidos fueron los siguientes.

# Nº árbol	Distancia al árbol más cercano (m)	Perímetro del arbol (m)	# Diámetro (m)	# Cobertura liquínica total (%)	Especies	Biotipo de cada especie	Cobertura liquénica de cada especie (%)
2	2,9	1,3	0,413802852	22,5	*Platismatia glauca*	Foliáceo	12,5
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	10
25	2,2	1,1	0,3501408748	6,5	*Platismatia glauca*	Foliáceo	1,5
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	5
7	1	0,96	0,3055774907	6,5	*Platismatia glauca*	Foliáceo	0,5
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	6
18	2	1,4	0,4456338407	10,75	*Platismatia glauca*	Foliáceo	5,5
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	5,25
3	1,73	1,2	0,3819718634	15	*Platismatia glauca*	Foliáceo	9,25
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	5,75
29	1,47	1,5	0,4774648293	6,25	*Platismatia glauca*	Foliáceo	5,75
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	0,5
1	1,7	1,3	0,413802852	3,25	*Platismatia glauca*	Foliáceo	1,75
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	1,5
21	3,4	1,5	0,4774648293	6	*Platismatia glauca*	Foliáceo	4,5
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	1,5
	2,05		0,408232429	9,59375			

Tabla 1. Elaboración propia.

# Nº árbol	Distancia al árbol más cercano (m)	Perímetro del arbol (m)	# Diámetro (m)	# Cobertura liquínica total (%)	Especies	Biotipo de cada especie	Cobertura liquénica de cada especie (%)
3	1,2	2,15	0,6843662553	34,5	*Platismatia glauca*	Foliáceo	11,25
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	23,25
7	1,3	1,1	0,3501408748	28,75	*Platismatia glauca*	Foliáceo	9
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	19,75
13	1,2	1,5	0,4774648293	29,25	*Platismatia glauca*	Foliáceo	5
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	23,75
					Usnea	Fruticuloso	0,5
20	2,2	1,2	0,3819718634	40,25	*Platismatia glauca*	Foliáceo	34,25
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	6
15	2,1	1,13	0,3596901714	63,25	*Platismatia glauca*	Foliáceo	13
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	1,75
					Flavoparmelia caperata	Foliáceo	48,5
1	3,2	1,11	0,3533239737	30,25	*Platismatia glauca*	Foliáceo	17,25
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	3,5
					Usnea	Fruticuloso	1,75
					Flavoparmelia caperata	Foliáceo	7,75
8	2	2	0,6366197724	62	*Platismatia glauca*	Foliáceo	4,75
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	1,5
					Hypocenomyce scalaris	Foliáceo	55,75
18	1,9	2	0,6366197724	27,75	*Platismatia glauca*	Foliáceo	24
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	3,75
	1,8875		0,4850246891	39,5			

Tabla 2. Elaboración propia.

# Nº árbol	Distancia al árbol más cercano (m)	Perímetro del arbol (m)	# Diámetro (m)	# Cobertura liquínica total (%)	Especies	Biotipo de cada especie	Cobertura liquénica de cada especie (%)
3	2,4	0,9	0,2864788976	40,75	*Platismatia glauca*	Foliáceo	37,5
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	3,25
17	2,6	1,2	0,3819718634	46,75	*Platismatia glauca*	Foliáceo	20
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	21,25
					Usnea	Fruticuloso	1,5
					Flavoparmelia caperata	Foliáceo	4
9	2,9	1,21	0,3851549623	41,25	*Platismatia glauca*	Foliáceo	19,75
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	21,5
22	2,6	1,25	0,3978873577	50,25	*Platismatia glauca*	Foliáceo	40,25
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	6,25
					Flavoparmelia caperata	Foliáceo	3,75
5	0,8	1,5	0,4774648293	49	*Platismatia glauca*	Foliáceo	24,5
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	20
					Flavoparmelia caperata	Foliáceo	4,5
14	2,8	0,92	0,2928450953	43,5	*Platismatia glauca*	Foliáceo	13,25
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	30,25
1	1,2	1,68	0,5347606088	47,25	*Platismatia glauca*	Foliáceo	40,5
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	4,5
					Usnea	Fruticuloso	2,25
11	1,3	1,58	0,5029296202	56,5	*Platismatia glauca*	Foliáceo	12,5
					Pseudevernia furfuracea	Fruticuloso	12,5
					Usnea	Fruticuloso	4
					Flavoparmelia caperata	Foliáceo	27,5
	2,075		0,4074366543	46,90625			

Tabla 3. Elaboración propia.

5.1.1. Datos recogidos de líquenes y análisis de gráficos

-DATOS RECOGIDOS

ZONA 1: Distancia a la carretera aproximada de 95 m. Total de 29 árboles en la parcela, todos ellos *Pinus pinaster*.

ZONA 2: Distancia a la carretera aproximada de 990 m. Total de 20 árboles en la parcela, todos ellos *Pinus pinaster*.

ZONA 3: Distancia a la carretera aproximada de 2 km. Total de 22 árboles en la parcela, de los cuales 19 eran *Pinus pinaster*, y 3 eran *Pinus sylvestris*.

Nota: Los pinos *Pinus sylvestris* no se eligieron para el muestreo para que toda la experimentación se hiciera en *Pinus pinaster.*

Pasemos a explicar estas tablas, que representan todos los datos que se recogieron en la libreta en el bosque pasados a limpio.

-Nº de árbol: tras haber numerado todos los árboles de la parcela, se eligieron ocho al azar. Por ejemplo, en la Zona 1 se escogió el 2, el 25, el 7, el 18…
-Distancia al árbol más cercano: se midió como dato de posible interés. El último dato de la columna (en gris, debajo de todo) se corresponde con la distancia media al árbol más cercano de los árboles de la zona.
-Perímetro del árbol: Se midió en el propio bosque, pero es un dato que se usó para posterior cálculo del diámetro.
-Diámetro del árbol: Se midió para asegurar que todos los árboles seleccionados eran de edades parecidas [13] , con datos aproximados entre 20 y 40 cm. El último dato de la columna (en gris, debajo de todo) se corresponde con el diámetro medio de los árboles de la zona.
-Cobertura liquénica total (%): Porcentaje total de cobertura por árbol, calculado como se explicó en la metodología. El último dato de la columna (en rosa, debajo de todo) se corresponde con la media aritmética de cobertura liquénica total de cada árbol en la zona.
-Especies: Especies presentes en cada árbol.
-Biotipo de cada especie: Clasificación de cada especie según su crecimiento. Por ejemplo, *Pseudevernia furfuracea* se corresponde con el biotipo fruticuloso.
-Cobertura liquénica de cada especie (%): Porcentaje de cobertura de cada especie. La suma de los porcentajes de cobertura de cada especie es igual al porcentaje de cobertura liquénica total.

-ANÁLISIS DE GRÁFICOS

En primer lugar, es preciso mencionar que, siguiendo el siguiente gráfico:

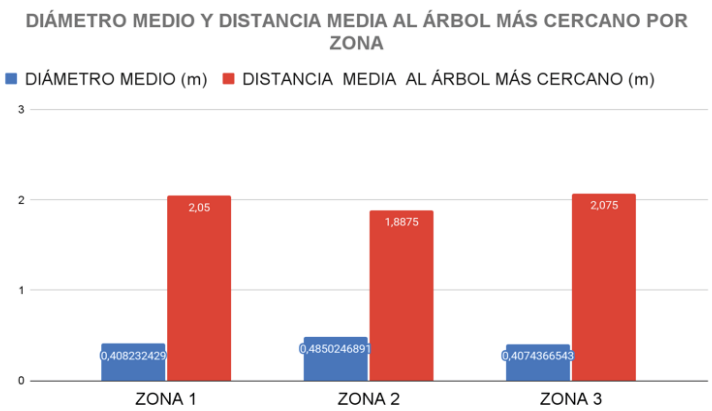


Gráfico 1. Elaboración propia.

Donde las barras azules representan el diámetro medio de los árboles por zona, y las barras rojas la distancia media al árbol más cercano, se puede afirmar que **el diámetro de árbol promedio resulta muy parecido en las tres parcelas, al igual que la distancia al árbol más cercano**. Como resultado, se podría decir que las tres zonas presentan árboles de edades parecidas y separación entre árboles (densidad forestal) semejante, de forma que se eliminan estas variables como factores que puedan influir de manera no deseada en los resultados del estudio. Por consiguiente, *las zonas son muy similares entre sí, y difieren principalmente en distancia a la carretera*.

- **Análisis y comparación de abundancia y diversidad liquénica en las tres zonas**

El siguiente diagrama de barras representa la abundancia liquénica (únicamente en términos de "cantidad", independientemente de la especie) de forma general en las tres zonas. Tal y como se puede observar en las tablas del apartado "Datos recogidos", se calculó la media aritmética de la cobertura liquénica total de cada árbol, lo que se tomó como dato de cobertura liquénica total en cada zona.

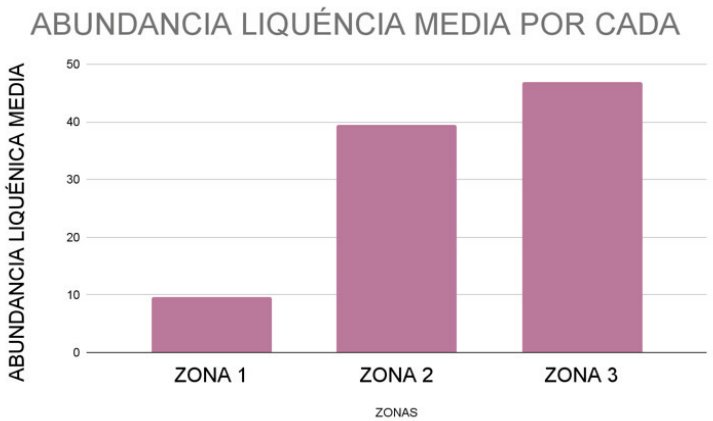


Gráfico 2. Elaboración propia.

Por ende, se observa cómo en la Zona 1, la más cercana a la carretera, el total de líquenes no llegaría a un 10%; mientras que en la Zona 2, más alejada de la fuente de contaminación, éstos aumentan hasta casi un 40%. Finalmente, la zona con mayor abundancia, con alrededor de un 47% de líquenes, sería la Zona 3; la más alejada de la AP-6.

13 El diámetro se midió ya que así lo requiere el protocolo establecido por la Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas (s.f.) de *Métodos y criterios para homogeneizar la evaluación, toma de muestras, seguimiento y análisis de los efectos de la contaminación atmosférica y otros factores de decaimiento sobre los bosques*, siguiendo los criterios del Manual Red CE de Nivel II para asegurar la homogeneidad y comparabilidad de los datos.

A continuación, se procederá al análisis más exhaustivo de dicho gráfico, mediante tres gráficos complementarios de la abundancia y también diversidad liquénica en cada zona.

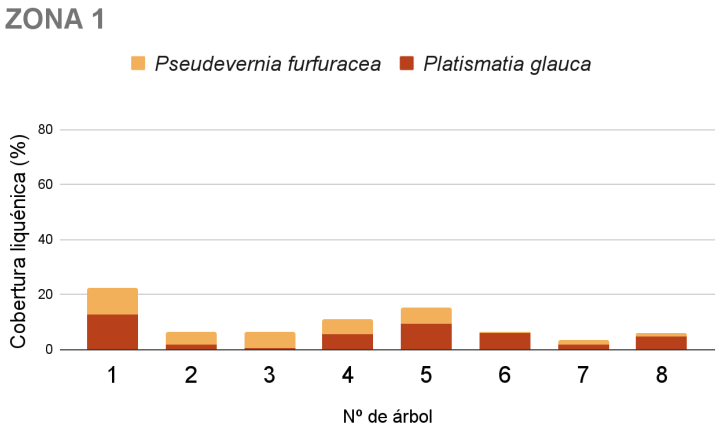


Gráfico 3. Elaboración propia.

-¿Qué aspectos se representan en el gráfico?

Este diagrama de barras se corresponde con la **Zona 1** de estudio. En él se disponen un total de ocho barras, cada una de las cuales representa a uno de los ocho árboles analizados en dicha zona. Asimismo, las barras están partidas en dos colores, que hacen referencia a las dos especies presentes en la zona. Por ejemplo, observamos que en el árbol 4, se presentaron dos especies de líquenes. En tono más oscuro, *Platismatia glauca;* y en tono más suave, *Pseudevernia furfuracea*. El gráfico, al ser de barras apiladas, muestra cómo la suma de las coberturas de ambas especies sería de alrededor de un 10% en este árbol 4.

-Análisis:

a) Cobertura: El árbol con la máxima cobertura fue el 1 (con un 22,5%) y el que tuvo la mínima fue el 7 (con un 3,25%). El promedio de cobertura fue de un 9,59%.

b) Diversidad de especies: Todos los árboles de la parcela presentaron las mismas dos especies. Ambas se encontraron en proporciones parecidas en los pinos, aunque en general hubo algo más de cobertura de Platismatia glauca [14] .

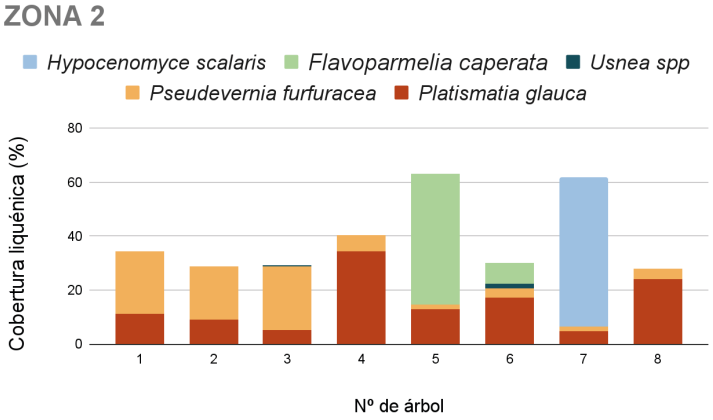


Gráfico 4. Elaboración propia.

-¿Qué aspectos se representan en el gráfico?

Este diagrama de barras se corresponde con la **Zona 2** de estudio. Al igual que en gráfico de la Zona 1, se disponen un total de ocho barras, una por árbol en la parcela 2. Por ejemplo, observamos que en el árbol 6, se presentaron cuatro especies de líquenes. En rojo, *Platismatia glauca*; en naranja, *Pseudevernia furfuracea*; en azul oscuro, *Usnea spp* y en verde, *Flavoparmelia caperata*. La suma de las coberturas de cada especie sería de alrededor de un 30% en este árbol 6.

-Análisis:

a) Cobertura: Todos los árboles presentaron mayor cobertura que los de la Zona 1. El que menos cobertura presentó fue el 8, con un 27,75% (que ya es más que el que presentó la máxima cobertura en la Zona 1); y el que más cobertura presentó fue el 5, con un 63,25%. El promedio de cobertura fue de un 39,50%.

b) Diversidad de especies: En los ocho árboles, al igual que en la Zona 1, se encontró tanto *Platismatia glauca* como *Pseudevernia furfuracea*, habiendo algo más de cobertura de la primera especie que de la segunda (una media de cobertura del 14,81% en *Platismatia* frente a un 10,41% en *Pseudevernia*). Por otra parte, en los ejemplares 3, 5, 6 y 7 aparecieron un total de tres nuevas especies; dos de las cuales (*Flavoparmelia caperata* e *Hypocenomyce scalaris*) son foliáceas, y una (*Usnea spp*) es fruticulosa. Es decir, en la Zona 2 se produce un aumento en la biodiversidad.

14 Los árboles 3 y 6 podrían ser las excepciones, ya que aunque en ambos están las dos especies, en el 3 casi toda la cobertura fue de *Pseudevernia* y en el 6 casi toda de *Platismatia*.

c) Comparación con la Zona 1:
La Zona 2 presentó **un aumento en abundancia liquénica** tanto en términos de **cobertura** (cantidad de líquenes general), como de **diversidad** (aparición de tres nuevas especies de dos biotipos distintos).

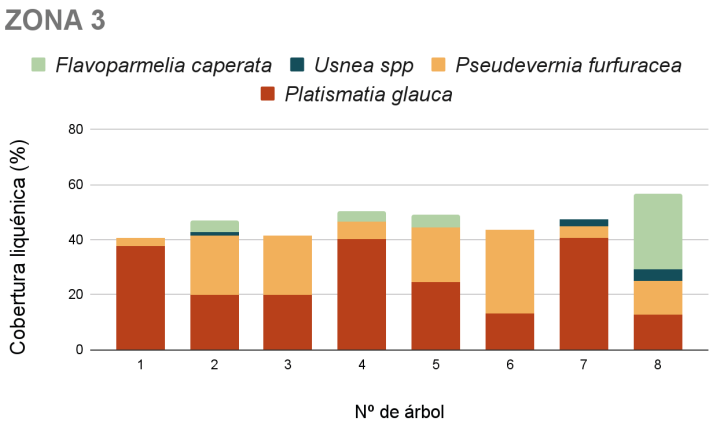


Gráfico 5. Elaboración propia.

-¿Qué aspectos se representan en el gráfico?

Este diagrama de barras se corresponde con la **Zona 3** de estudio. Al igual que en los gráficos de las Zonas 1 y 2, se disponen un total de ocho barras, una por cada árbol en la parcela 2. Por ejemplo, observamos que en el árbol 2, se presentaron cuatro especies de líquenes. En rojo, *Platismatia glauca*; en naranja, *Pseudevernia furfuracea*; en azul oscuro, *Usnea spp* y en verde, *Flavoparmelia caperata*. La suma de las coberturas de cada especie sería de alrededor de un 46% en este árbol 2.

-Análisis:

a) Cobertura: A nivel general, todos los árboles aumentaron su cobertura. El que menos cobertura presentó fue el 3, con un 41,25%, y el que más fue el 8, con un 56,5%. Se puede observar que ese 56,5% es un porcentaje menor que el 63,25% que presentó el árbol con la máxima cobertura en Zona 2. Es decir, el árbol con la máxima cobertura liquénica en Zona 2 presentó más líquenes que el de la Zona 3 (más alejada de la carretera). No obstante, cabe destacar que el resto de pinos sí la aumentaron. Como consecuencia, el promedio de cobertura fue de un 46,91%, un porcentaje que de todos modos siguió siendo mayor al promedio de cobertura de la Zona 2.

b) Diversidad de especies:
Se encontraron las mismas especies que en la Zona 2 excepto una; *Hypocenomyce scalaris*, que apareció en el árbol 7 de la Zona 2 (en bastante cantidad [15]) pero no apareció en ningún árbol estudiado de la Zona 3. Sin embargo, aunque esto podría interpretarse como una disminución en la diversidad, la ausencia de dicha especie pudo deberse a otros factores. Por ejemplo, como los árboles de la Zona 3 se escogieron de forma aleatoria, pudo darse la casualidad de que ninguno de los estudiados tuviera la especie. Sin embargo, puede que sí la presentaran los otros árboles pertenecientes a la misma parcela pero que no fueron escogidos.
Asimismo, las otras dos especies (*Flavoparmelia caperata* y *Usnea spp*) que sí se encontraban presentes, lo hicieron en mayor cantidad y en más árboles que en Zona 2. Es decir, mientras que *Flavoparmelia caperata* en Zona 2 apareció en 2 pinos, en la Zona 3 lo hizo en 4. De igual manera, mientras que *Usnea spp* en Zona 2 apareció en 2 pinos, en la Zona 3 lo hizo en 3 y en éstos, a su vez, apareció en mayor cantidad. En relación con *Platismatia* y *Pseudevernia*, de nuevo la *Platismatia* fue más abundante..

c) Comparación con las Zonas 1 y 2:
Entre la Zona 1 y la Zona 3 (las más alejadas) se pueden observar indudablemente **grandes saltos en términos de cobertura total** (9,59% en Zona 1 frente al 46,91% en Zona 3) **y de diversidad** (dos especies en total en Zona 1, frente a las 4 especies en total en Zona 3).
Entre la Zona 2 y la Zona 3, podría parecer que la Zona 2 presentó más especies que la 3 (5 especies frente a 4 respectivamente), aunque esto se podría deber a un error de muestreo consistente en que no se escogió ningún árbol sobre el que creciera la quinta especie.

En cualquier caso, **todas las especies** compartidas por ambas zonas **aumentaron o bien en abundancia, o bien en número de árboles** sobre los que crecían **en la Zona 3**.

Por último, *Pseudevernia furfuracea* y *Platismatia glauca* aparecieron en las tres zonas, pero hubo siempre mayor abundancia de *Platismatia* que de *Pseudevernia*.

15 Un 55,75% de cobertura perteneciente a un ejemplar de gran tamaño.

5.1.2. Datos recogidos de material particulado y análisis de gráficos

-DATOS RECOGIDOS

	ZONA	PARTÍCULAS PM2.5 (ug/m³)	PARTÍCULAS PM10 (ug/m³)	Nº PARTÍCULAS/L
DÍA 1 (14 sept)	1	6,3	8,5	844
	2	2,5	4,3	302
	3	2,3	4	299
DÍA 2 (15 sept)	1	9,6	16,7	1354
	2	7	11,1	966
	3	5,3	8,6	832
DÍA 3 (17 sept)	1	2,5	4,6	403
	2	1,4	2	220
	3	2	3,7	305
DÍA 4 (18 sept)	1	8	13,4	1234
	2	6,1	9,8	949
	3	3,2	6,6	761
DÍA 5 (21 sept)	1	9,2	15,6	1420
	2	5,7	9,9	954
	3	3,9	6,6	761
DÍA 6 (25 sept)	1	1,7	2,8	303
	2	0,8	1,9	209
	3	0,6	1,2	153
DÍA 7 (27 sept)	1	3,3	5,4	567
	2	2,5	4,3	467
	3	0,7	1,3	186

Tabla 4. Elaboración propia.

La tabla muestra todos los datos tomados por el medidor de material particulado. Podemos observar que consta de siete filas, una por cada día que se fue a medir. Cada día se visitaron las tres zonas, y en cada zona se tomaron datos de los tres parámetros explicados previamente en la metodología (concentración de partículas tipo PM2.5, concentración de partículas PM10 y nº total de partículas por litro).

-Por ejemplo, en la fila del día 1 (14 de septiembre), en la Zona 1 el medidor marcó que había 6,3 µg/m3 de partículas PM2.5; 8,5 µg/m3 de partículas PM10 y 844 partículas totales por litro.

-En Zona 2 el medidor marcó que había 2,5 µg/m3 de partículas PM2.5; 4,3 µg/m3 de partículas PM10 y 302 partículas totales por litro.

-Por último, en Zona 3 el medidor marcó que había 2,3 µg/m3 de partículas PM2.5; 4 µg/m3 de partículas PM10 y 299 partículas totales por litro.

La tabla funciona del mismo modo para el resto de días.

-ANÁLISIS DE GRÁFICOS

Las tres figuras de este apartado muestran tres gráficos, uno por cada parámetro que se midió sobre la calidad del aire. La disposición es la misma en los tres casos: en el "eje x", aparece cada uno de los 7 días en los que se realizaron mediciones. Dentro de cada día, encontramos tres barras agrupadas, cada una representando una zona. Así, las barras rojas se corresponden con la Zona 1, las barras amarillas con la Zona 2 y las barras verdes con la Zona 3.

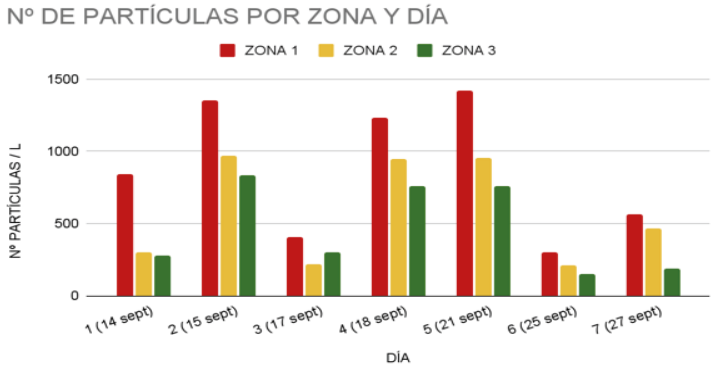


Gráfico 6. Elaboración propia.

De forma global, podemos observar cómo el nº de partículas/L varía dependiendo del día. Por ejemplo, el día 5, el nº de partículas es muy elevado en comparación con las del día 6. Esto se debe a que, naturalmente, *hay días en los que hay más contaminación en el aire que otros*. No obstante, la clave está en que independientemente de que los valores de un día fueran más altos que los de otro, **siempre se mantiene el mismo patrón dentro de cada día: el nº de partículas en la Zona 1 es mayor que el nº de partículas en la Zona 2 que es mayor que el nº de partículas en la Zona 3**. Únicamente se observa una anomalía en el día 3, en el que hubo más partículas en Zona 3 que en Zona 2. Esto pudo deberse a que el viento de ese día, proveniente del sur (Madrid) junto con otras condiciones meteorológicas particulares como la sequedad, arrastrara las partículas hacia la Zona 3 (en vez de quedarse retenidas en la Zona 1 como el resto de días). Esto implicaría que el día 3 la carretera no fue el principal productor de contaminación, sino el aire proveniente de la capital.

Los siguientes gráficos muestran la concentración de partículas PM2.5 y PM10 respectivamente (recordemos que difieren en el tamaño y en propiedades). Para ello, en el "eje y" ya no estaría el nº de partículas, sino la concentración de ellas (expresada en µg/m^3). Al estar uno sobre el otro, observamos cómo la semejanza entre los días es

evidente. Por ejemplo, hay niveles de concentración muy elevados el 4º y 5º día frente a los del 6º y 7º día (mucho más bajos); y de nuevo se repite la anomalía el día 3.

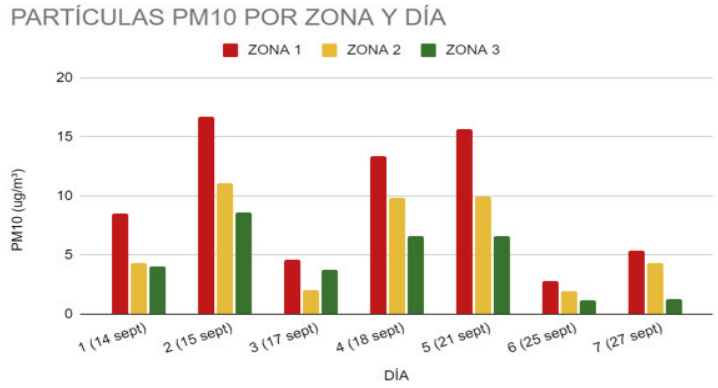


Gráfico 7. Elaboración propia.

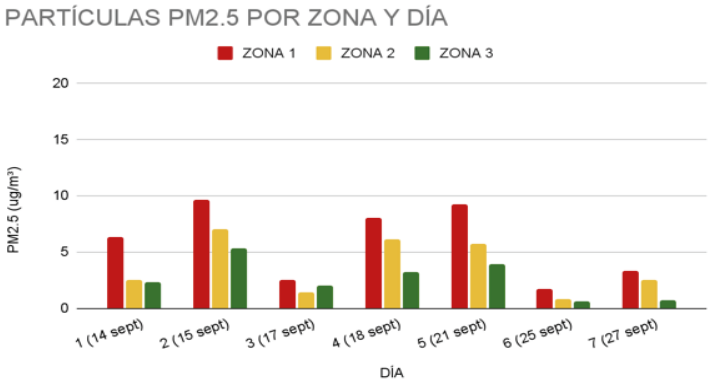


Gráfico 8. Elaboración propia.

5.2. TRABAJO DE LABORATORIO

5.2.1. Datos recogidos de la emisión de fluorescencia y análisis de gráficos -DATOS RECOGIDOS

TIEMPO= 0h

Platismatia glauca 0

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,75	0,72	0,77	0,7466666667
0	0,71	0,75	0,74	0,7333333333
0	0,74	0,75	0,76	0,75

Pseudevernia furfuracea 0

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,76	0,69	0,77	0,74
0	0,74	0,72	0,74	0,7333333333
0	0,75	0,76	0,72	0,7433333333

Evernia prunastri 0

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,76	0,73	0,71	0,7333333333
0	0,71	0,73	0,73	0,7233333333
0	0,76	0,74	0,72	0,74

TIEMPO= 24h

Platismatia glauca 1

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,7	0,73	0,74	0,7233333333
750	0,67	0,77	0,78	0,74
1500	0,72	0,75	0,73	0,7333333333

Pseudevernia furfuracea 1

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,75	0,72	0,75	0,74
750	0,76	0,66	0,75	0,7233333333
1500	0,7	0,73	0,72	0,7166666667

Evernia prunastri 1

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,76	0,74	0,71	0,7366666667
750	0,77	0,7	0,75	0,74
1500	0,63	0,75	0,72	0,7

TIEMPO= 48h

Platismatia glauca 2

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,75	0,73	0,69	0,7233333333
750	0,76	0,7	0,75	0,7366666667
1500	0,68	0,74	0,69	0,7033333333

Pseudevernia furfuracea 2

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,73	0,77	0,72	0,74
750	0,71	0,73	0,75	0,73
1500	0,74	0,73	0,73	0,7333333333

Evernia prunastri 2

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,71	0,72	0,72	0,7166666667
750	0,59	0,68	0,72	0,6633333333
1500	0,66	0,62	0,58	0,62

TIEMPO= 72h

Platismatia glauca 3

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,68	0,76	0,77	0,7366666667
750	0,67	0,75	0,75	0,7233333333
1500	0,65	0,74	0,66	0,6833333333

Pseudevernia furfuracea 3

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,75	0,69	0,72	0,72
750	0,72	0,7	0,7	0,7066666667
1500	0,68	0,64	0,72	0,68

Evernia prunastri 3

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,73	0,68	0,7	0,7033333333
750	0,63	0,61	0,65	0,63
1500	0,43	0,6	0,46	0,4966666667

TIEMPO= 96h

Platismatia glauca 4

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,67	0,76	0,74	0,7233333333
750	0,64	0,61	0,64	0,63
1500	0,54	0,57	0,64	0,5833333333

Pseudevernia furfuracea 4

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,7	0,69	0,73	0,7066666667
750	0,42	0,5	0,54	0,4866666667
1500	0,43	0,36	0,41	0,4

Evernia prunastri 4

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,73	0,67	0,74	0,7133333333
750	0,45	0,44	0,55	0,48
1500	0,33	0,47	0,47	0,4233333333

TIEMPO= 120h

Platismatia glauca 5

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,75	0,76	0,7	0,7366666667
750	0,56	0,55	0,58	0,5633333333
1500	0,53	0,15	0,62	0,4333333333

Pseudevernia furfuracea 5

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,7	0,72	0,68	0,7
750	0,47	0,33	0,44	0,4133333333
1500	0,1	0,28	0,2	0,1933333333

Evernia prunastri 5

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,7	0,67	0,67	0,68
750	0,24	0,34	0,35	0,31
1500	0,19	0,02	0,32	0,1766666667

Tabla 5. Elaboración propia.

En cada uno de los seis días mostrados [16] encontramos un total de tres tablas. Cada una se corresponde con una especie de líquenes diferente. Tal y como se indica en el título de las tablas, a la izquierda está *Platismatia glauca*, en el centro está *Pseudevernia furfuracea* y a la derecha *Evernia prunastri*. Es decir, cada día se midieron tres especies diferentes.

Dentro de cada tabla (por ejemplo la que se presenta a continuación, que se corresponde con *Pseudevernia furfuracea* a tiempo 72 h), se distinguen cinco columnas:

Pseudevernia furfuracea 3

Tratamiento (µM)	1	2	3	Media
0	0,75	0,69	0,72	0,72
750	0,72	0,7	0,7	0,7066666667
1500	0,68	0,64	0,72	0,68

Tabla 6. Elaboración propia.

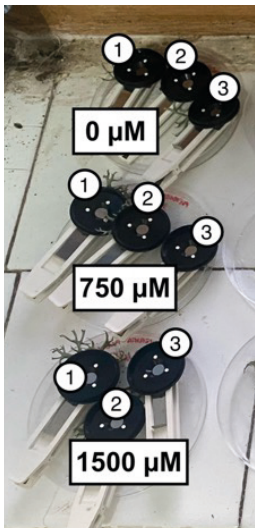


Figura 37: Las tres placas a distintas concentraciones, con tres muestras cada una, como apoyo para la comprensión de la Tabla 6. **Fuente:** Elaboración propia.

-Tratamiento (µM): Se muestran los tres valores de concentración (µM) de $CuCl_2$ en los que se incubaron los líquenes.

-Las tres columnas centrales: Las columnas que marcan **"1"**, **"2"** y **"3"** se corresponden con las tres muestras que se midieron de dicha especie. En la tabla mostrada, observamos lo siguiente:

A concentración 0 (µM), la muestra 1 dio 0,75 Fv/Fm, la 2 dio 0,69 Fv/Fm y la 3 dio 0,72 Fv/Fm.

A concentración 750 (µM), observamos otros tres valores (uno por muestra).

A concentración 1500 (µM) lo mismo.

-Media: La columna representa la media aritmética de los valores de las tres muestras, que es el dato con el que se trabajó en el análisis.

-ANÁLISIS DE GRÁFICOS

- ***Platismatia glauca:***

Nota: se realizará un análisis exhaustivo de los siguientes dos gráficos pertenecientes a *Platismatia*, con el fin de que se comprendan todos los aspectos reflejados. Posteriormente, en los gráficos que se interpretarán de las otras dos especies, se irá directamente al análisis de los datos relevantes.

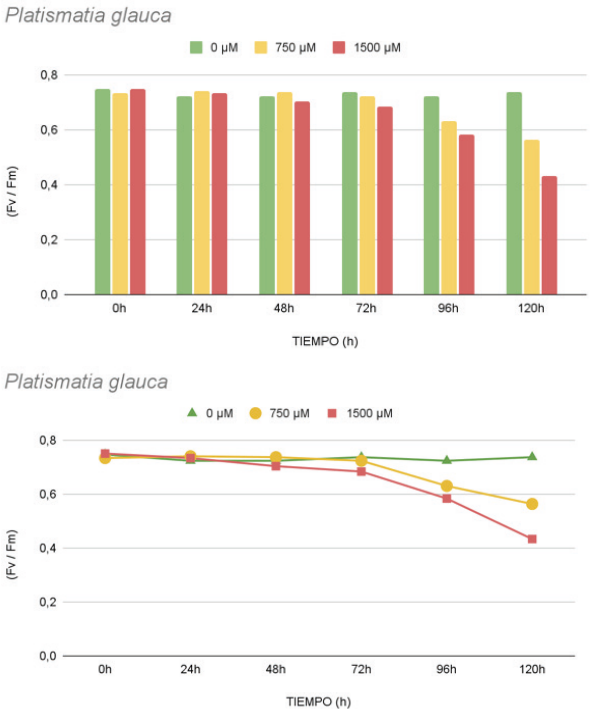


Gráfico 9 y 10. Elaboración propia.

Los dos gráficos, a pesar de ser de distinto tipo, representan lo mismo: en el "eje y" está el **índice de eficiencia máxima del fotosistema II** (ó Fv/Fm) [17] que presentaron los líquenes. En el "eje x" el **tiempo de incubación** de los mismos. Se puede apreciar que en el "eje x" están reflejados los seis días. El primer gráfico nos sirve para comparar los valores de Fv/Fm dentro de un mismo día, mientras que el segundo nos permite ver la tendencia de estos valores entre días.

En el primer gráfico, cada día consta de tres barras agrupadas. Las verdes se corresponden con el Fv/Fm de los líquenes incubados en CuCl 2 a 0 µM; las amarillas con el Fv/Fm de

16 Como se ve en la Figura 37, los días se han llamado tiempo 0 h, tiempo 24h, tiempo 48h etc. y se han subrayado cada uno en un color.

17 Recordemos que el gráfico muestra datos de Fv/Fm que resultan de hacer la media aritmética de los valores que dieron las tres muestras medidas a esa concentración, tal y como se indica en el apartado "Datos recogidos" del punto *5.2.1.*".

los líquenes incubados en $CuCl_2$ a 750 µM, y las rojas con el Fv/Fm de los líquenes incubados en CuCl 2 a 1500 µM.

Análisis de los datos por día:

-A tiempo 0 h, dado que los líquenes no se habían sometido a ningún tipo de contaminante, los tres grupos dieron valores muy semejantes (entre 0,73 y 0,75 Fv/Fm).

-A tiempo 24 h, aunque ya había líquenes sometidos al contaminante, los datos de los líquenes a los tres gradientes seguían rondando valores parecidos (de nuevo entre 0,73 y 0,75 Fv/Fm).

-A tiempo 48 h, comenzamos a observar que la barra roja (que representa los líquenes sometidos al $CuCl_2$ de concentración 1500 µM) comenzó a disminuir (comenzó a dar valores en torno a 0,70 Fv/Fm).

-A tiempo 72 h, se ve con mayor claridad que las tres barras se empezaron a ordenar de forma decreciente. Es decir, los líquenes sometidos sólo a agua destilada, sin $CuCl_2$ (el control, barra verde) dieron los mayores valores de Fv/Fm, seguidos de los que estuvieron sometidos a CuCl 2 750 µM (barra amarilla), y por debajo de todo, los que más habían estado en presencia del contaminante, a 1500 µM (barra roja), dieron los valores más pequeños de Fv/Fm.

-A tiempo 96 h la tendencia decreciente de las barras se hace más evidente, ya que los líquenes comenzaron a dar valores de eficiencia fotoquímica muy distintos entre sí dependiendo de la concentración de contaminante a la que habían estado expuestos. (En el gráfico se aprecia que las barras presentan alturas significativamente diferentes entre sí).

-A tiempo 120 h los líquenes sometidos únicamente a agua destilada seguían siendo tan eficientes fotoquímicamente como el primer día, mientras que los que estuvieron a [750 µM] disminuyeron significativamente su eficiencia (valores rondan 0,56 Fv/Fm). Por último, los líquenes que se sometieron a la máxima concentración de $CuCl_2$ dieron valores aún más bajos, en torno a 0,43 Fv/Fm.

El segundo gráfico, asimismo, nos serviría para concluir tras entender el primero, ya que muestra más claramente cómo la línea verde se mantiene prácticamente constante a lo largo de las 120 h, es decir, los líquenes del control no se vieron afectados por el contaminante. Sin embargo, la línea amarilla comienza a decrecer a partir de las 96 h, por lo que los líquenes sometidos a concentración 750 µM sí se vieron progresivamente afectados por el cloruro de cobre. Finalmente, la línea roja decreció aún más ya desde las 72 h, por lo que los líquenes sometidos a $CuCl_2$ 1500µM experimentaron las consecuencias perjudiciales antes que el resto, y de forma más abrupta.

- ***Pseudevernia furfuracea***

Durante los tres primeros días el Fv/Fm fue similar en las tres concentraciones ≃ (0,74). Se puede observar cómo fue a partir de las 72 h cuando los valores de Fv/Fm en *Pseudevernia* se fueron distanciando unos de otros y se fueron ordenando de forma decreciente en relación con la concentración de $CuCl_2$.

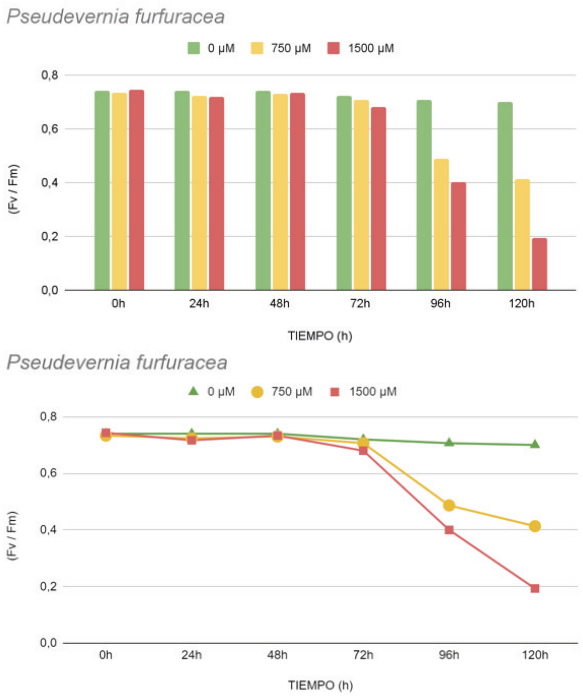


Gráfico 11 y 12. Elaboración propia.

Si observamos el segundo gráfico, la tendencia de la línea verde (0µM) se mantiene prácticamente constante, lo que indica que los líquenes no expuestos a $CuCl_2$ siempre permanecieron en buen estado. La línea amarilla (750µM) inicia su tendencia descendente a partir de las 72 h, del mismo modo que lo hace (y aún más abruptamente) la línea roja (1500µM). A las 96 h, la línea amarilla había disminuido de forma notable, al igual que la roja (ésta siempre por debajo de las otras dos). Finalmente, a las 120 h, la línea amarilla

alcanzó valores muy bajos (en torno a 0,41 Fv/Fm), y de nuevo la línea roja presentó valores aún menores (0,19 Fv/Fm).

En consecuencia, **también existiría una relación entre el tiempo de incubación, el gradiente de concentración del contaminante y el estado fisiológico de los líquenes** en *Pseudevernia furfuracea*: a mayor tiempo y gradiente, menos emisión de fluorescencia.

- ***Evernia prunastri***

En el caso de *Evernia prunastri*, llama la atención cómo los líquenes sometidos a $CuCl_2$ [1500 µM] se vieron perjudicados ya desde las 24 h.

Durante el resto de días, los valores se fueron distanciando entre ellos progresivamente una vez más, dependiendo de la concentración del contaminante.

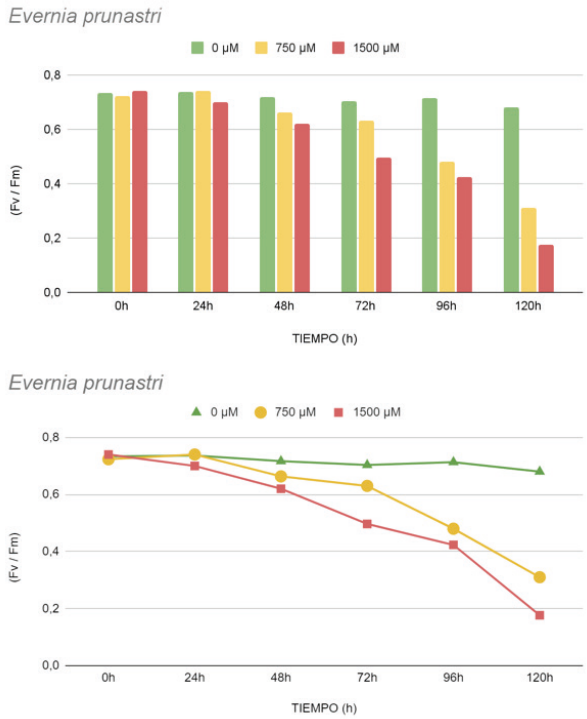


Gráfico 13 y 14. Elaboración propia.

Cabe destacar que a tiempo 96 h, hay una mayor diferencia entre los valores de la barra verde y la amarilla que entre la barra amarilla y la roja (aunque aún así la roja se mantuvo por debajo de la amarilla). Esto demuestra que los líquenes con contaminante se vieron muy perjudicados en comparación con los que no lo tenían, pero entre los que estaban a mayor concentración y los que estaban a menor concentración, aunque siguió habiendo diferencia, ésta no fue tan significativa. En otras palabras, independientemente del gradiente, **los líquenes con contaminante** (incluso siendo de concentración media) **ya presentaron mucha sensibilidad**.

Si observamos el segundo gráfico, la tendencia de la línea verde (0µM) se mantiene prácticamente constante, lo que indica que los líquenes no expuestos a $CuCl_2$ permanecieron siempre en buen estado. La línea amarilla (750µM) inicia su tendencia descendente a partir de las 24 h, por lo que este grupo fue dando valores cada vez más bajos a lo largo de los siguientes cuatro días. Lo mismo se puede decir de la línea roja (1500µM), que siempre se encontró por debajo de las otras dos.

- **Análisis entre especies e interpretación de los resultados:**

Las tres especies de líquenes presentan un **patrón general** donde **la fluorescencia disminuye con el aumento de la concentración del tratamiento y el tiempo de exposición.**

En *Platismatia glauca* y en *Pseudevernia furfuracea*, los tres primeros días los líquenes dieron valores de eficiencia fotoquímica similares entre sí, independientemente del gradiente de concentración al que hubieran estado sometidos. Esto se puede deber a que, por un lado, no había pasado el suficiente tiempo como para que los organismos asimilaran el contaminante; y por otro lado, a que sólo habían recibido dos veces la dosis.

No obstante, a partir del cuarto día se registraron los primeros indicios de perjuicio en los líquenes que sí habían estado expuestos al contaminante. *Efectivamente, aquellos que habían recibido las dosis de mayor concentración de $CuCl_2$ presentaron una menor eficiencia fotoquímica que los que habían estado expuestos a concentración media, y estos, a su vez, menor eficiencia que los que no se sometieron a ningún contaminante, cuya eficiencia fue siempre máxima.*

Evernia prunastri, por su parte, mostró los primeros signos de perjuicio el segundo día; es decir, dos días antes que las otras dos especies. Esto podría implicar una mayor sensibilidad al $CuCl_2$ por parte de *Evernia*, ya que comenzó a experimentar el deterioro antes que *Platismatia y Pseudevernia*.

Análisis del último día:

A [0 µM], las tres especies se mantuvieron con valores parecidos entre sí (y parecidos al primer día). Por ello sabemos que no hubo otros factores externos (como la temperatura, luz etc.) que pudieran ir perjudicando a los líquenes, lo que demuestra que fue el CuCl 2 lo que causó el descenso en la eficiencia fotoquímica.

A [750 µM]:

- *Platismatia glauca* dio valores en torno a 0,56 Fv/Fm.
- *Pseudevernia furfuracea* dio valores en torno a 0,41Fv/Fm.
- *Evernia prunastri* dio valores en torno a 0,31 Fv/Fm.

Esto nos indicaría una mayor resistencia al contaminante por parte de *Platismatia*, seguida de *Pseudevernia* y por debajo de todo, la más sensible sería *Evernia*.

A [1500 µM]:

- *Platismatia glauca* dio valores en torno a 0,43 Fv/Fm.
- *Pseudevernia furfuracea* dio valores en torno a 0,19 Fv/Fm.
- *Evernia prunastri* dio valores en torno a 0,17 Fv/Fm.

Esto nos indicaría de nuevo una mayor resistencia al contaminante por parte de *Platismatia*, seguida de *Pseudevernia* y por debajo de todo, la más sensible seguiría siendo *Evernia*.

En definitiva, según los datos recogidos en este experimento, se podrían ordenar las especies en orden creciente de sensibilidad al $CuCl_2$ quedando de la siguiente manera:

Platismatia glauca < *Pseudevernia furfuracea* < *Evernia prunastri*

5.2.2. Datos recogidos de la peroxidación de lípidos de membrana y análisis de gráfico

-DATOS RECOGIDOS

La tabla muestra la absorbancia (DO) de *Platismatia glauca* y *Pseudevernia furfuracea* detectada por el espectrofotómetro a los distintos gradientes de concentración de $CuCl_2$.

	Platismatia glauca	*Pseudevernia furfuracea*
Tratamiento (µM)	Absorbancia (densidad óptica a 532nm)	
0	0,06	0,12
750	0,16	0,24
1500	0,25	0,47

Tabla 7. Elaboración propia.

-ANÁLISIS DE GRÁFICO

El siguiente gráfico representa la absorbancia (DO) medida por el espectrofotómetro dependiendo del gradiente de concentración de la disolución de $CuCl_2$ al que se hubieran sometido los líquenes.

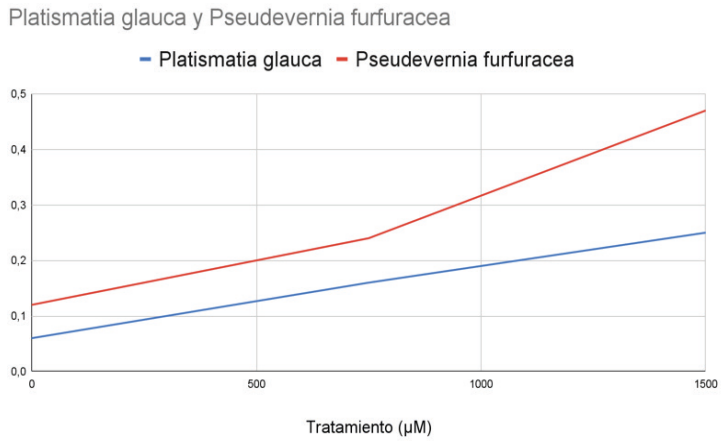


Gráfico 15. Elaboración propia.

- **Tendencia general frente al $CuCl_2$:**

La densidad óptica aumentó (DO) en ambas especies conforme se incrementó la concentración de CuCl2 .

En el caso de *Platismatia glauca*, los datos de menor absorbancia fueron desde 0,06 DO (el control) hasta 0,25 DO en los líquenes sometidos a la máxima concentración del contaminante (1500 µM). En *Pseudevernia furfuracea*, los datos de menor absorbancia fueron desde 0,12 DO (el control) hasta 0,47 DO en los líquenes sometidos a la mayor concentración de $CuCl_2$ (1500 µM), aproximadamente el doble que los medidos en *Platismatia glauca* en todas las concentraciones evaluadas.

Dicho de otro modo, ambas especies presentaron dependencia en su estado fisiológico (determinado por la DO detectada) frente a la concentración del contaminante al que se sometieron, aunque Pseudevernia furfuracea mostró un incremento más pronunciado (una pendiente mayor).

La mayor respuesta frente al contaminante por parte de *Pseudevernia furfuracea* sugiere, a su vez, una mayor activación de procesos fisiológicos asociados al estrés por metales pesados; es decir, una mayor sensibilidad a la contaminación. Según los datos recogidos en este experimento, se podrían ordenar las especies en orden creciente de sensibilidad al $CuCl_2$ quedando de la siguiente manera, que

concuerda con el orden con el que se estableció tras el análisis de emisión de fluorescencia:

Platismatia glauca < Pseudevernia furfuracea

Por otro lado, el gráfico no muestra una caída en la DO en ningún momento, por lo que en el rango de concentraciones analizado las especies se fueron viendo perjudicadas progresivamente (incremento en DO) pero no lo suficiente como para que dejaran de llevar a cabo procesos internos o para inducir la muerte en los líquenes. Es decir, dentro de los niveles probados (entre 0 y 1500µM), las especies fueron relativamente tolerantes al Cu^{2+} , pero mostrando un perjuicio progresivo. En consecuencia, si se hubieran medido especies expuestas a un mayor gradiente de concentración de cloruro de cobre, el espectrofotómetro probablemente habría detectado mayores niveles de absorbancia. Si el espectrofotómetro comenzara a medir valores menores de DO, entonces se evidenciaría un efecto tóxico letal en los líquenes (al cual nunca se llegó en este experimento, ya que la tendencia siempre fue creciente).

6. DISCUSIÓN

A continuación procederemos a integrar todos los análisis ya realizados, con el fin de obtener conclusiones que relacionen todos los experimentos tanto de campo como de laboratorio.

- **Observaciones generales:**

Mediante las recogidas de datos de la calidad del aire con aparatos medidores, se comprobó que **la distancia a la carretera influye en la concentración de partículas contaminantes** en el ambiente, puesto que, a nivel general, en Zona 1 (la más cercana a la carretera) se detectó más concentración que en Zona 2 (distancia media) y aún más que en Zona 3 (la más alejada). Gracias a ello, podemos afirmar que *las diferencias en abundancia y diversidad liquénica observadas en las tres zonas durante los muestreos del presente trabajo, se debieron potencialmente a dicha concentración promedio de partículas PM2.5 y PM10 producidas por el tráfico.*

Los experimentos de laboratorio, por otra parte, permitieron reforzar estas conclusiones. Esto se debe a que, en tanto que los líquenes analizados únicamente se diferenciaron unos de otros en la concentración del contaminante al que estuvieron expuestos, y los expuestos a concentraciones mayores acabaron en peores condiciones, **fue el contaminante la principal causa de daño en sus procesos fisiológicos** medidos a través del descenso en la emisión de fluorescencia y a través de un mayor daño en la membrana lipídica.

En ambos experimentos, por tanto, la razón por la que los líquenes se vieron perjudicados fue la contaminación de un tipo o de otro. O bien porque no pudieron llegar a crecer, causa principal de su ausencia en las zonas más contaminadas del estudio de campo, o bien porque sus funciones vitales se vieron negativamente afectadas en el estudio de laboratorio.

- **Observaciones específicas:**

Además, en los resultados del trabajo de campo, *Platismatia glauca* siempre apareció en mayor abundancia dentro las tres zonas, seguida de *Pseudevernia furfuracea*. Ésto indicaría una mayor resistencia a la contaminación por parte de la primera especie, **lo que concuerda con los resultados del trabajo de laboratorio**, ya que tanto el análisis de fluorescencia como el de peroxidación lipídica concluyeron en que *Platismatia glauca* resistió mejor al contaminante que *Pseudevernia furfuracea*. Es decir, todos los experimentos del presente proyecto coinciden en que *Pseudevernia furfuracea* muestra mayor sensibilidad que *Platismatia glauca*.

Evernia prunastri, que según los experimentos de laboratorio sería la más sensible, no llegó a encontrarse en ninguna de las tres parcelas muestreadas del trabajo de campo. Esto implicaría que la poca tolerancia a la contaminación presentada en el laboratorio también la mostró en el trabajo de campo, en tal medida que ni siquiera llegó a crecer. Por consiguiente, de nuevo todos los experimentos realizados coinciden en que *Evernia prunastri* es la especie más sensible a la contaminación de las tres.

7. LIMITACIONES

a) PROBLEMA DE DIVERSIDAD EN ZONA 2 Y ZONA 3: Tal y como se explicó en el apartado *"Análisis de gráficos"* del punto *5.1.1.*, se encontró una especie más en Zona 2 que en Zona 3, lo que sugiere una mayor diversidad en la zona más cercana a la carretera. Sin embargo, esto se podría deber a un error de muestreo consistente en que no se escogió ningún árbol sobre el que creciera la quinta especie, a pesar de que ésta sí se encontrase en otros pinos de la parcela 3.

b) GRADILLA: Se eligió una gradilla transparente de 20x20cm. Aunque resulta completamente válida, podría haberse usado una de 30x50 cm, como se vio más adelante, puesto que ésta permite el cálculo del Índice de Pureza Atmosférica (IPA), que es otro método comúnmente usado para evaluar calidad del aire con líquenes. No obstante, en el presente proyecto se realizó una recogida de datos de la contaminación atmosférica mediante aparatos medidores de partículas para que los resultados siguieran estando fundamentados.

c) ANOMALÍA DEL DÍA 3: Posiblemente debido a las condiciones meteorológicas del día en cuestión, se produjo una inversión de los resultados obtenidos en Zona 2 y Zona 3 tal y como se explicó en el apartado *"Análisis de gráficos"* del punto 5.1.2. Los resultados de las concentraciones de partículas provenientes de la carretera (lo que se midió) no concordaban con el patrón general, por lo que la contaminación ese día específico posiblemente no provenía de la carretera sino de una fuente mayor: del aire de Madrid. Podría realizarse otro análisis, pero de carácter meteorológico, para determinar cuándo es el viento la fuente principal de contaminación en el área de estudio en vez de la proximidad a la carretera, y así comprobar si esto fue la causa de los resultados obtenidos el día 3.

d) INCUBACIONES: Las incubaciones del trabajo de laboratorio se llevaron a cabo entre los meses de junio y julio, por lo que se debe tener en cuenta que, al dejarse a temperatura ambiente, se estaban dejando a temperaturas de entre 20 y 30 ºC.

8. CONCLUSIONES

-Tanto los resultados obtenidos en el trabajo de campo como los del trabajo de laboratorio, demuestran que los líquenes son organismos sensibles a la contaminación.

-En el entorno natural se observó que dado que la AP-6 constituye claramente una fuente de partículas contaminantes (tal y como indicaron los datos recogidos mediante aparatos medidores) *existe una relación directa entre la abundancia y diversidad de líquenes y la calidad del aire, confirmando la hipótesis planteada*. Por otro lado, los dos experimentos de laboratorio demostraron que la exposición a diferentes concentraciones de un contaminante afecta directamente al estado fisiológico de los líquenes, ya que las especies sometidas a concentraciones más altas presentaron mayores signos de daño.

-Integrando ambos experimentos, el estudio confirma que *los líquenes no solo reflejan la calidad del aire en su entorno natural, sino que en condiciones controladas también responden negativamente al contacto con contaminantes como el cobre (metales pesados)*.

-Asimismo, cabe destacar que a la hora de medir la calidad del aire en un lugar, los datos relevantes son los de partículas finas promedio del lugar. En consecuencia, una medición puntual no sería representativa. En este mismo trabajo hemos comprobado que de siete días en los que se midió la concentración de partículas contaminantes, uno presentó datos diferentes al resto, lo que implicaría que *para conocer el nivel de contaminación atmosférica general en un lugar, hace falta un registro constante que muestre qué respiramos la mayor parte del tiempo*. En este trabajo, hemos comprobado que los líquenes son en sí mismos un registro de la calidad del aire a lo largo de toda su vida y por tanto, una "toma contínua de datos" natural y respetuosa con el medio ambiente.

-En conclusión, al contrario que un medidor puntual, constituyen una interesante alternativa fiable y respetuosa a tener en cuenta. Si se necesita medir la calidad del aire y no se dispone de una central que tome datos periódicos del ambiente, siempre que cuidemos y protejamos nuestros ecosistemas, podremos utilizar estos organismos.

9. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Dado que la hipótesis queda corroborada, se podría ampliar el presente proyecto analizando la calidad del aire en Guadarrama. Para ello, se podrían realizar muestreos de líquenes también en el pueblo (ayuntamiento, urbanizaciones, colegios e institutos, etc) y en los alrededores de la zona, para evaluar en qué medida contribuye la población a perjudicar la calidad del aire o cómo influye la contaminación proveniente de otros lugares. Ésto se podría aplicar del mismo modo al resto de municipios de la zona y, como resultado de muestrear tantas áreas, se realizaría un inventario más extenso de las diferentes especies que habitan los alrededores de la Sierra de Guadarrama.

Finalmente, comparando unas áreas con otras y teniendo en cuenta la sensibilidad de las diferentes especies encontradas al llevarlas de nuevo al laboratorio, se podría determinar la calidad del aire del lugar.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Apelt, J., & Liebscher, V. (2025). Tikhonov-Fenichel reductions and their application to a novel modelling approach for mutualism. *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arxiv.2501.12069
- ASTA† Juliette, Maître de Conférences Honoraire, Laboratoire de Botanique de l'Université Joseph Fourier puis LECA, UGA (Université Grenoble Alpes). (2025, mayo 1). Líquenes y calidad ambiental. *Encyclopedia of the Environment*. https://www.encyclopedie-environnement.org/en/life/lichens-environmental-quality/
- Asturnatura. (s.f.). Haustorio. *En Diccionario de la naturaleza*. Recuperado el 6 de diciembre de 2025, de https://www.asturnatura.com/naturaleza/diccionario/haustorio-1106.html
- Barreno, E., & Pérez Ortega, S. (2003). *Biología de los líquenes*. Consejería de Medio Ambiente. https://www.uv.es/barreno/Biologia_de_los_liquenes.pdf
- Cabral, E. L. (Directora y correctora), Judkevich, M., Medina, W., & Salas, R. M. (2019). *Hongos liquenizados: Guía de consultas diversidad vegetal* [PDF]. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, UNNE. https://exa.unne.edu.ar/carreras/docs/HONGOS_%20LIQUENIZADOS.pdf
- Casares, M. (s.f.). Líquenes. *Universidad de Granada*. Recuperado el 9 de septiembre de 2025, de https://www.ugr.es/~mcasares/Utilidades/liquenes.htm
- Chaparro de Valencia, M. (2002). *Hongos liquenizados*. 220 páginas.
- Conti, M. E., & Tudino, M. B. (2016). Lichens as biomonitors of heavy-metal pollution. En M. de la Guardia & S. Armenta (Eds.), *Comprehensive Analytical Chemistry: Vol. 73. The Quality of Air*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.coac.2016.02.005
- Cislaghi, C., & Nimis, P. (1997). Líquenes, contaminación atmosférica y cáncer de pulmón. *Nature*, 387, 463–464. https://doi.org/10.1038/387463a0
- Cubas, P., Núñez, J., Crespo, A., & Divakar, P. K. (s.f.). *Líquenes: qué son y su uso como bioindicadores*.
- Ediciones Universidad de Salamanca. (s.f.). Plecténquima. *En Dicciomed: Diccionario médico-biológico, histórico y etimológico*. Recuperado de https://dicciomed.usal.es/palabra/plectenquima
- Ente Parco Nazionale del Vesuvio. (s.f.). The pioneer species. Recuperado el 10 de septiembre de 2025, de *Vesuvius National Park*: https://www.parconazionaledelvesuvio.it/en/biodiversity/the-pioneer-species/
- Hametner, C., Stocker-Wörgötter, E., & Grube, M. (2014). New insights into diversity and selectivity of trentepohlialean lichen photobionts from the extratropics. *Symbiosis*, 63(1), 31-40. https://doi.org/10.1007/s13199-014-0285-z
- Illana, C. (2016). Líquenes usados en perfumería. *Boletín de la Sociedad Micológica de Madrid*, 40, 213–217.
- Inga, B. (2009). Reindeer (Rangifer tarandus tarandus) feeding on lichens and mushrooms: Traditional ecological knowledge among reindeer-herding Sámi in northern Sweden. *Rangifer*, 27(2), 93–106. https://doi.org/10.7557/2.27.2.163
- Jahns, H. M. (1982). *Guía de campo de los helechos, musgos y líquenes de Europa* (M. C. R. Miquel, Trad.). Omega.
- Kováčik, J., Tomko, J., Backor, M., & Repčák, M. (2006). Matricaria chamomilla is not a hyperaccumulator, but tolerant to cadmium stress. *Plant Growth Regulation, 50*, 239–247. https://doi.org/10.1007/s10725-006-9141-3
- LabFerrer. (s.f.). *Fluorómetros*. Recuperado el 19 de septiembre de 2025, de https://www.lab-ferrer.com/bio/planta/fluorometros/
- Macronaturaleza. (2019, enero 27). *Los líquenes. Hongos liquenizados*. https://macronaturaleza.com/micologia/los-liquenes-hongos-liquenizados/
- Martínez-Vargas, B., & Pérez-y-Terrón, R. (2020). Diversidad de bacterias no fotosintéticas y sus procesos metabólicos asociados a los líquenes. *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*. https://hdl.handle.net/20.500.12371/9785
- Museo Nacional de Ciencias Naturales – CSIC. (2022, febrero 10). El proyecto "ROCK-EATERS" analizará cómo avanza la vida en lavas y rocas de áreas deglaciadas de la Antártida. https://www.mncn.csic.es/es/Comunicaci%C3%B3n/el-proyecto-rock-eaters-analizara-como-avanza-la-vida-en-lavas-y-rocas-de-areas
- MYCO-UAL. (s.f.). Líquenes: generalidades. *Universidad de Almería*. Recuperado el 3 de diciembre de 2025, de https://w3.ual.es/GruposInv/myco-ual/liquen.htm
- Rangel Osornio, V., & Gómez Peralta, M. (s.f.). El aire que respiramos y los líquenes. *Saber Más* (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo). Recuperado el 9 de septiembre de 2025, de https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/398-numero-46/746-el-aire-que-respiramos-y-los-liquenes.html

- Sancho, L., de los Ríos, A., Pintado, A., et al. (2020). Himantormia lugubris, una endémica antártica al borde de la simbiosis de líquenes. *Simbiosis, 82, 49–58*. https://doi.org/10.1007/s13199-020-00723-7
- San-Matías Marín, M. (s.f.). Líquenes [PDF]. *Universidad de Granada*. Recuperado el 9 de septiembre de 2025, de https://www.ugr.es/~cjl/liquenes.pdf
- Spribille, T., et al. (2016). Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. *Science (New York, N.Y.), 353(6298)*, 488–492. https://doi.org/10.1126/science.aaf8287
- Stanier, R. Y. (2005). *Microbiología*. España: Reverté. Figura 1 (página 598). https://books.google.es/books?id=2u-6Q2XCMDgC&pg=PA599&printsec=frontcover&dq=qu%C3%A9+es+la+simbiosis&source=entity_page&newbks=0&hl=es&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Strasser, R., Srivastava, A., & Tsimilli-Michael, M. (2000). The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. En M. Yunus, U. Pathre, & P. Mohanty (Eds.), *Probing photosynthesis: Mechanism, regulation and adaptation* (chapter 25). Taylor & Francis.
- The British Lichen Society. (s.f.). *What is a lichen?* Recuperado de https://britishlichensociety.org.uk/learning/what-is-a-lichen?utm
- Turunen, M., & Vuojala-Magga, T. (2013). Porojen talviruokinta: Luppopuiden hakkuusta tarharuokintaan [With English summary: Reindeer winter feeding: From lichen tree cuttings to pen feeding]. *Suomen Riista, 59*, 86–99. https://www.researchgate.net/publication/259937251_Porojen_talviruokinta_luppopuiden_hakkuusta_tarharuokintaan_With_English_summary_Reindeer_winter_feeding_from_lichen_tree-cuttings_to-pen-feeding
- Piepenbring, M. (2015, mayo 9). Anatomía del talo, alga verde, cianobacterias, líquenes, Lichenes [Ilustración]. *Wikimedia Commons*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:05_09_anatom%C3%ADa_del_talo,_alga_verde,_cianobacterias,_liquenes,_Lichenes_(M._Piepenbring).png
- Urry, L. A., et al. (2021). *Biología de Campbell* (12.ª ed., Edición AP). Savvas Learning LLC.
- Villanueva Martínez, X. A. (2016). Efecto antibacteriano de compuestos derivados de líquenes antárticos sobre *Acinetobacter baumannii* (Tesis de Magíster). *Universidad de Concepción*. https://repositorio.udec.cl/server/api/core/bitstreams/3933e834-38c1-4e81-ac1b-fda14c485d9f/content

11 ANEXOS

https://drive.google.com/file/d/1ezgrfsTVda3_SLlRO6rvbnQ9SymFEoHw/view?usp=drive_link

Deporte y Salud Menstrual:

Más allá del Rendimiento.

Silvia Hervás Ibáñez

Tutora: Amaya Matos Yarza

AGRADECIMIENTOS

Primero de todo, gracias al IES Guadarrama por brindarme la oportunidad de llevar a cabo esta investigación y a todo su equipo docente que fomenta la curiosidad y el aprendizaje al igual que la educación pública cada día.

Especialmente gracias a mi tutora, Amaya Matos Yarza, por ser un ejemplo a seguir y por acompañarme y guiarme a lo largo de este camino. Por confiar en mis habilidades y recordarme constantemente de lo que soy capaz.

Gracias a mi familia por mostrarme apoyo incondicional cuando lo he necesitado y por enorgullecerse de mi siempre, de mis esfuerzos y dedicación. Gracias a mis amigas y a mi pareja por hacerme reír cuando lo he necesitado.

Sin duda, gracias a todas las mujeres que han participado en esta investigación, sin vuestra colaboración no habría sido posible.

Por último, gracias a todas las mujeres que se sumergen en el campo de la ciencia para estudiar todos los cambios que experimenta su cuerpo e ilustrarnos con sus descubrimientos vitales.

ÍNDICE

1. Resumen.....296
1.1. Abstract..... 296
2. Introducción..... 296
2.1. Justificación..... 296
2.2. Hipótesis..... 296
2.3. Objetivos..... 296
3. Marco teórico.....297
3.1. Aparato reproductor femenino.....297
3.1.1. Anatomía.....297
3.1.2. Ciclo menstrual.....298
3.1.3. Dismenorrea.....299
3.2. Ejercicio físico más adecuado para los objetivos.....300
4. Metodología.....300
4.1. Diseño de la encuesta inicial.....300
4.2. Diseño de los entrenamientos.....301
4.2.1. Ejercicios escogidos.....301
4.2.2. Principios de entrenamiento deportivo.....302
4.2.3. Elaboración y desarrollo de los entrenamientos.....302
4.3. Diseño de la encuesta final.....304
5. Experimentación y análisis de datos.....305
5.1. Análisis de la encuesta inicial.....305
5.2. Análisis de la encuesta final.....310
5.3. Comparación de las encuestas.....314
5.4. Análisis de las entrevistas.....316
6. Conclusiones finales.....316
7. Próximas líneas de investigación.....316
8. Márgenes de error......317
9. Referencias bibliográficas.....317
Anexos.....319

1. Resumen

En este proyecto se estudia la eficiencia del ejercicio físico para disminuir el dolor menstrual en mujeres de entre catorce y veinte años, diseñando ejercicios específicos que se deben realizar durante diez semanas.

Primero se realizó una revisión bibliográfica acerca del ciclo menstrual e investigaciones ya realizadas sobre esta hipótesis y se adquirió información sobre cuál sería el mejor tipo de ejercicio físico.

A continuación se diseñó la primera encuesta anónima para averiguar el dolor menstrual inicial de las participantes.

Durante la divulgación de la encuesta se diseñaron ejercicios específicos acordes al nivel e intensidad de dolor menstrual de cada grupo de mujeres.

Para que más adelante cada participante accediera a los entrenamientos, se hizo uso de la plataforma digital de Youtube y se creó un canal llamado *"Deporte y Salud Menstrual"*. En ese canal, se subió la tabla de entrenamientos para que todas las mujeres pudieran seguirla durante sus rutinas, una explicación de la misma para que no hubiera ninguna confusión y un vídeo de representación sobre cómo se debían realizar correctamente los ejercicios para que dieran resultados.

Durante 10 semanas las participantes hicieron los entrenamientos correspondientes y al final de ese periodo se envió una encuesta final que permitiría relacionar a las participantes con la encuesta inicial, nuevamente de forma anónima, y se pudo averiguar si el ejercicio físico era verdaderamente un analgésico natural.

Palabras clave: *deporte, ejercicio físico, dolor menstrual, ciclo menstrual, entrenamiento, analgésico natural*.

1.1. Abstract

In this investigation we studied the efficiency of physical effort and its benefits towards the reduction of menstrual pain and cramps in women from fourteen to twenty years old. In order to do this we designed workouts that lasted for ten weeks.

First, a literature review was conducted in order to get to know the menstrual cycle, previous investigations related to the topic and the type of exercise that is best for the goal.

Then we designed a survey where 90 women, in the age range said before, participated. We got to know their initial level of pain among other initial data.

During the divulgation of the survey we designed specific physical exercises according to the level and intensity of the menstrual pain, for each of the groups created.

To be able to allow the participants to do the workouts we created an easy access to a Youtube channel called *"Deporte y Salud menstrual"* that includes the training table, explanations about how to follow the workout plan and how to do the exercises correctly.

For ten weeks the girls executed the training, and in the end they were sent a second and final survey where we were able to compare the evolution along the journey.

Key words: *physical effort, menstrual pain, cramps, menstrual cycle, physical exercises, workouts, training*.

2. Introducción

2.1. Justificación

El dolor menstrual se ha normalizado toda la vida. Hay mujeres que no conocen la causa de este malestar, no saben cómo tratarlo y por ello su calidad de vida disminuye debido a la desinformación.

Existen diferentes tipos de remedios frente al dolor menstrual pero a penas se ha investigado si el deporte sirve como analgésico natural.

Hay muchas mujeres que no pueden recurrir a otros métodos para aliviar su dolor, por ejemplo, los anticonceptivos u antiinflamatorios debido a sus componentes. Por lo tanto el ejercicio físico es una forma natural de resolver el problema.

Debido a que esto se presenta como un problema diario para las mujeres, en este trabajo se ha decidido probar si el ejercicio podría ayudar a resolver el impedimento.

2.2. Hipótesis

La hipótesis de este proyecto es:

"El ejercicio físico enfocado a las zonas del cuerpo afectadas por la inflamación durante la menstruación, disminuye el dolor menstrual después de la realización prolongada del mismo".

2.3. Objetivos

Para intentar demostrar la hipótesis propuesta se presentan los siguientes objetivos:

- General:
  - Averiguar si gracias a la realización periódica de entrenamientos deportivos el dolor menstrual disminuye.

- Específicos:
  - Recopilar mediante encuestas datos sobre el nivel de dolor menstrual de las participantes.
  - Diseñar un programa de entrenamiento para cada nivel de dolor.
  - Analizar los resultados de los entrenamientos y verificar la hipótesis.

3. Marco teórico

3.1. Aparato reproductor femenino

Para comprender por qué y cómo se origina el dolor menstrual primero se buscó información acerca de la anatomía del aparato reproductor femenino y los procesos que se llevan a cabo en el mismo.

3.1.1. Anatomía

El aparato reproductor femenino tiene tres funciones: producir gametos, hacer posible la fecundación y desarrollar un embrión. Para ello tiene una serie de estructuras:

- Los ovarios:

Los ovarios son los órganos principales del aparato reproductor femenino. Están situados en la pelvis y son los encargados de producir y liberar los óvulos (gametos o células sexuales femeninas) y de producir ciertas hormonas sexuales involucradas en el ciclo menstrual y ovárico (Biología-Geología.com, s. f.).

En la corteza de los ovarios se encuentran los folículos que contienen los óvulos y en ellos maduran. Los folículos deben madurar para poder liberar un ovocito (óvulo inmaduro) y para ello sufren una serie de fases (foliculogénesis):

a) *Folículos primordiales:* ovocito y cápsula de células pre-granulosas.
b) *Folículos primarios:* ovocitos maduros, células cúbicas (de la granulosa).
c) *Folículo secundario:* aumenta el número de células de la granulosa, se forma la zona pelúcida.
d) *Folículo preantral:* células de la granulosa aumentan y adquieren receptores de la FSH (hormona foliculoestimulante), sumamos células de la teca.
e) *Folículo antral:* cavidad rellena de líquido folicular (antro), dependientes de las gonadotropinas (FSH y LH).
f) *Folículo de Graff:* el antro crece y deja el ovocito en el lado del folículo para poder ser expulsado. Ocurre un pico de gonadotropinas y ocurre la ovulación gracias al cúmulo (cápsula de células de la granulosa). (Reproducción Asistida ORG, 2022)

- Trompas de falopio:

Las trompas de falopio son dos tubos que van desde el útero hasta la superficie de los ovarios. Los tubos están recubiertos por mucosa interna formada por células ciliadas y secretoras que al segregar moco ayudan a descender al óvulo maduro, a su vez que los movimientos peristálticos o contracciones musculares, durante la ovulación.

En esta zona se produce la fecundación donde el espermatozoide se une con el óvulo para formar un embrión.

- Útero:

El útero es un órgano muscular hueco encargado de la gestación del embrión. Consta de tres capas:

a) *Perimetrio:* capa interna, compuesta de tejido conjuntivo.
b) *Miometrio:* capa media, compuesta de músculo liso y determina el grosor del útero.
c) *Endometrio:* capa externa, compuesta de mucosa glandular que se renueva en cada menstruación si el óvulo no es fecundado.

El útero tiene dos partes:

a) *Cuerpo uterino:* zona superior donde desembocan las trompas de falopio.
b) *Cuello uterino:* zona inferior que desemboca en la vagina.

En el útero se desarrolla y madura el embrión y en el comienzo del embarazo se genera la placenta que sirve de comunicación entre el sistema circulatorio del zigoto y la madre.

- Vagina:

Tubo muscular y elástico que va desde la parte inferior del útero hasta los genitales externos. Zona por donde se expulsa al feto durante el parto y donde se encuentra el pene durante la cópula.

En esta zona encontramos las glándulas cervicales y junto con el epitelio vaginal secretan sustancias y mucus para lubricar.

- La vulva:

Es un conjunto de estructuras que forman los genitales externos de la mujer. Entre ellos encontramos:

a) *Monte de venus:* se encuentra delante de la sínfisis púbica y durante la pubertad se recubre de pelo.
b) *Labios menores:* plegaduras cutáneas que delimitan el vestíbulo, zona donde se encuentran las glándulas de Bartolino (segrega sustancia mucosa), la superficie de la vagina y la uretra.
c) *Labios mayores:* son plegaduras cutáneas con parte interna y externa, cubierta de pelo, repletas de glándulas, homólogas al escroto masculino.
d) *Clítoris:* formado por tejido cavernoso eréctil y termina en el glande del clítoris. Es homólogo a la porción dorsal del pene. Repleto de terminaciones nerviosas sensitivas.
e) *Bulbo vestibular:* compuesto por dos porciones de tejido eréctil a cada lado del orificio vaginal y tiene contacto con las glándulas de Bartolino.

(Biología-Geología.com, s. f.).

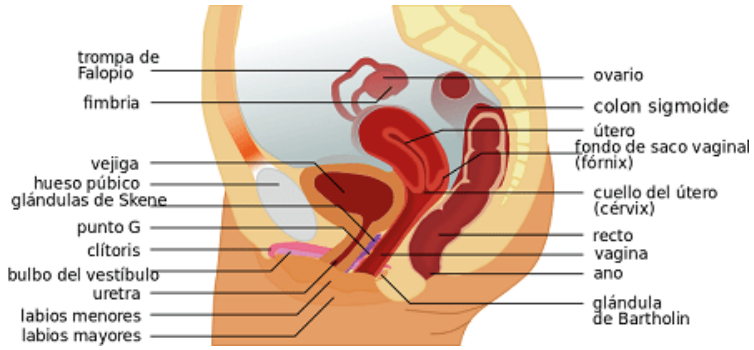


Imagen 1. Anatomía del aparato reproductor femenino. Tomado de *Esquema anatómico del aparato reproductor femenino* [Ilustración], por Biología-Geología.com, s.f., en https://biologia-geologia.com/anatomia/711_aparato_reproductor_femenino.html

3.1.2. El ciclo menstrual

El ciclo menstrual es un proceso que experimentan las mujeres durante aproximadamente 28 días (varía de los 23-35 días dependiendo de cada mujer) en el que el cuerpo se prepara para un posible embarazo siguiendo en todos los casos, las mismas fases.

Esto ocurre desde la primera regla hasta la menopausia e incluye cambios en el útero y en los ovarios que se ven controlados por las hormonas sexuales femeninas. Estas son:

a) Se producen en la hipófisis:
   i) *FSH:* hormona folículo estimulante. Su función es estimular el ovario para desarrollar los folículos primordiales.
   ii) *LH:* hormona luteinizante. Su función es hacer que se produzca la ovulación una vez el ovocito ha madurado.
b) Se producen en los ovarios:
   i) *Progesterona:* secretada después de la ovulación para engrosar el endometrio y producir un embarazo.
   ii) *Estrógenos:* secretada durante la maduración del folículo y a lo largo del ciclo menstrual para regular el ciclo. También está implicada en el desarrollo sexual de la mujer.

El ciclo menstrual y el ciclo ovárico son dos procesos que ocurren a la par e influyen entre sí. Comienzan cuando las hormonas sexuales se encuentran en estado de reposo o en estado basal que quiere decir que su concentración es mínima.

A partir de este momento se diferencian una serie de fases según la variación de la concentración de las hormonas y los cambios físicos en los ovarios y el útero. Esto se conoce como fases del ciclo menstrual:

- *La menstruación:*

El ciclo comienza con el primer día de menstruación que consiste en un sangrado producido por el desgarramiento del endometrio debido a que no ha ocurrido la implantación del embrión.

- *Fase folicular:*

En esta fase el folículo inicia su maduración hasta convertirse en el folículo de Graff (proceso ya detallado en la anatomía del ovario). Este proceso perdura desde el inicio de la menstruación hasta la ovulación cuando el ovocito maduro es expulsado del folículo.

En este momento la hormona FSH aumenta para que los folículos crezcan y se trasladan a la superficie del ovario. En consecuencia se forma la cohorte folicular que secreta estradiol y hace que la producción de FSH se inhiba. Como resultado ocurre un reclutamiento folicular en el cual los folículos no consiguen sobrevivir sin la acción de la FSH y solo uno de ellos perdura. Este será el folículo de Graff.

Los estrógenos, durante este periodo, producen un engrosamiento del endometrio y generan un moco cervical que fomenta la entrada de los espermatozoides.

- *Fase ovulatoria:*

Alrededor del día 14 ocurre la ovulación que se produce debido a un pico de LH secretado por la hipófisis. En este momento el folículo maduro expulsa el óvulo hacia las trompas de falopio donde se producirá la fecundación si se une con un espermatozoide.

Por lo general durante la ovulación sólo se expulsa un óvulo por folículo pero puede ocurrir que haya una ovulación de dos folículos que aumenta la posibilidad de tener un embarazo de mellizos.

Si el óvulo es fecundado desciende hasta el útero donde se implantará al endometrio y comenzará la gestación del embrión. Si el óvulo no ha sido fecundado en las siguientes 24 horas después de la ovulación, el óvulo envejece y se degenera.

- *Fase lútea:*

Está fase comienza desde la ovulación hasta el inicio de la próxima menstruación.

El folículo se convierte en el cuerpo lúteo, se haya o no fecundado el óvulo y produce estrógenos y progesterona durante esta fase que actúan sobre el endometrio.

El moco cervical previamente generado por los estrógenos se ve inhibido por la producción de progesterona que de esta manera impide la entrada de más espermatozoides. Esta hormona también engrosa y convierte en esponjoso el endometrio debido a un mayor riego sanguíneo ya que de esta manera si el óvulo ha sido fecundado, la implantación del embrión es posible.

- *Fase isquémica:*

Si el óvulo no ha sido fecundado, el cuerpo lúteo desaparece y la acción de los estrógenos y la progesterona se frenan. Esto provoca que todas las hormonas sexuales vuelvan a su estado basal y se produzca el desgarramiento del endometrio que dará lugar a la menstruación y al comienzo del ciclo de nuevo.
(Barranquero Gómez, Rogel Cayetano, & Salvador, 2023)

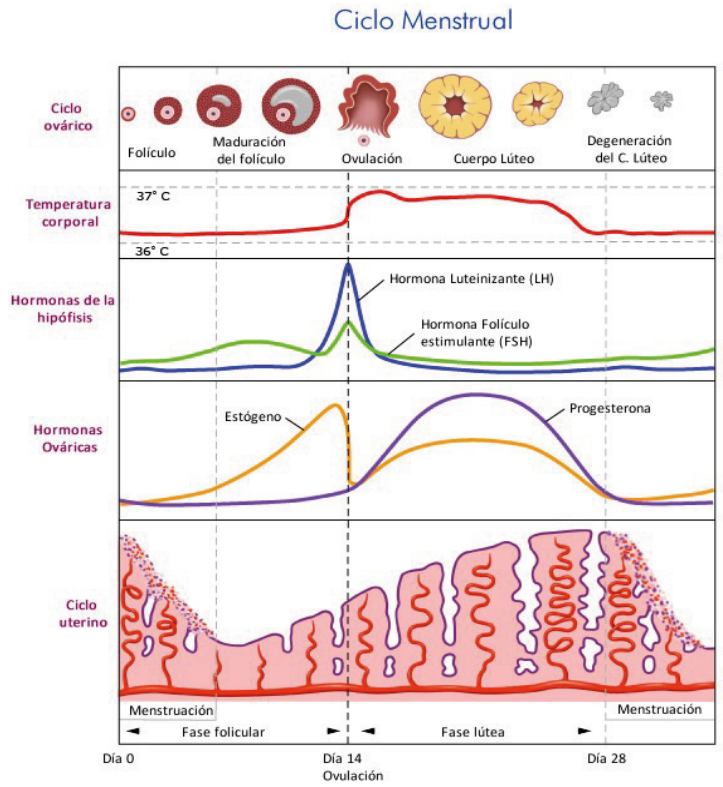


Imagen 2. Representación de las fases del ciclo menstrual, cambios hormonales, ováricos, uterinos y en la temperatura corporal. Adaptado de Portal Educativo. (s.f.). El ciclo menstrual. PortalEducativo.net. https://www.portaleducativo.net/septimo-basico/783/El-ciclo-menstrual

3.1.3. Dismenorrea

Según Medicover Hospitals (s. f.) los calambres que sufren las mujeres previamente, durante o después del periodo de la menstruación reciben el nombre de dismenorrea, pero existen dos tipos:

a) *Dismenorrea primaria:* es denominado aquel dolor en la pelvis o en la zona lumbar durante la menstruación que no se ve causado por ningún trastorno o enfermedad.
b) *Dismenorrea secundaria:* es denominado aquel calambre menstrual en la zona de la pelvis o lumbar, que es causado debido a una enfermedad o trastorno específico.

Por lo tanto según establece Roldán (s. f.) aquellas mujeres que padecen de dismenorrea secundaria son tratadas por su médico y dependiendo de la causa del dolor ya sea endometriosis, fibras uterinas, enfermedades inflamatorias pélvicas entre otras, tienen su propio tratamiento específico que debe ser revisado y examinado por un profesional.

En cambio el tratamiento de la dismenorrea primaria se encarga principalmente de hacer desaparecer los síntomas. La solución generalmente suele ser recetar antiinflamatorios o analgésicos como el ibuprofeno o el naproxeno. También existen otras soluciones efectivas que no involucran medicamentos como el deporte leve en la zona abdominal, aplicar calor, disminuir el nivel de ansiedad o estrés…

También sabemos gracias a muchos estudios, entre ellos el de Cajo (2023) que los síntomas de la dismenorrea primaria se ven causados por la liberación excesiva de prostaglandinas que provoca contracciones fuertes en el miometrio. Establecido por el Instituto Nacional del Cáncer [NCI] (s. f.) estas moléculas controlan la presión arterial, la contracción de los músculos lisos y otros procesos en dichos tejidos.

3.2. Ejercicio físico más adecuado para los objetivos

Para averiguar cuál era el ejercicio físico con el que se obtienen mejores resultados también se buscó información acerca de previas investigaciones o experimentos [1] .

Armour et al. (2019) investigó acerca del dolor menstrual y la relación que tenía con el deporte llegando a la conclusión de que el ejercicio aeróbico de 45-60 min durante 3 o más veces por semana podría proporcionar una disminución del dolor menstrual independientemente de la intensidad del ejercicio comparado con la inactividad.

Tsai et al. (2024) realizaron experimentos con ejercicios de relajación, entrenamientos de fuerza, ejercicios aeróbicos, yoga, ejercicios combinados y la maniobra de Kegel. Los resultados mostraron que los ejercicios de relajación fueron los más eficaces para disminuir el dolor a las 4 semanas mientras que el resto dieron resultados a las 8 semanas.

Según Top Doctors (2024) la actividad física mejora la circulación sanguínea, libera endorfinas que actúan como analgésicos naturales, relaja los músculos pélvicos y promueve la oxigenación. Por lo tanto recomiendan ejercicios enfocados en la región pélvica (para la circulación de la sangre en la zona principal), caminatas de intensidad moderada (20-30 minutos diarios), ejercicios de bajo impacto (nadar o bicicleta) para evitar tensiones innecesarias en la zona lumbar y por último fortalecimiento del núcleo enfocado en el abdomen y la zona lumbar para estabilizar la pelvis. Recalcan que es necesario evitar ejercicios de extrema intensidad para evitar incomodidad en la zona y aumento de calambres o tensiones.

Como se ha dicho la buena circulación sanguínea ayuda a disminuir los calambres menstruales y de acuerdo con United Vein & Vascular Centers (2024) o MedlinePlus (2023) caminar, ciclismo o la natación son actividades de bajo impacto que promueven la mejora de la afecciones venosas y al menos 30 min diarios maximizan los beneficios cardiovasculares, sin causar sobrecarga de las vías sanguíneas.

Y por último como plantean Behm y Chaouachi (2011) la flexibilidad no solo mejora el rango de movimiento (ROM) sino que también promueve la circulación sanguínea y reduce el dolor muscular [2].

4.Metodología

Tras realizar una detallada revisión bibliográfica se siguieron una serie de pasos.

4.1. Diseño de la encuesta inicial

Se comenzó con el diseño de una encuesta inicial mediante la que se pretendía averiguar el dolor menstrual que tenían las jóvenes.

En este cuestionario se preguntó la edad para obtener un rango específico en la muestra que terminó siendo entre catorce y veinte años.

Para poder relacionar a las participantes con la segunda encuesta se propuso un método mediante el cual ellas se identificaron escribiendo la inicial de su nombre y apellido y el día de nacimiento. De esta manera fue anónimo.

Más adelante se hicieron preguntas en relación con su ciclo menstrual para observar si el deporte también variaba otros factores y no solo la molestia. Se consultó cuándo le vino el periodo por primera vez a cada una y su alimentación durante este tiempo.

A su vez, se quiso averiguar la dificultad para realizar actividades durante la menstruación y una especificación de las mismas, pero no solo aquellas causadas por el pro-

1 Más estudios en un código QR en la sección de anexos.

2 Además de estos estudios también se incluye un código QR en la sección de anexos con un análisis de los tipos de ejercicio físico que existen que fue de gran apoyo en la investigación.

pio dolor menstrual sino también por las alteraciones del estado de ánimo.

Además nos pareció curioso preguntar la percepción personal en relación con su dolor para determinar si algunas lo normalizaban o soportaban.

Era necesario mencionar el uso de analgésicos durante el periodo ya que esto influye en el nivel de malestar y debía de tenerse en cuenta en la investigación. De la misma forma se averiguó cualquier dato en cuanto a la práctica de deporte que realizaba cada encuestada porque también intervenía en la variación de su incapacidad.

La encuesta también incluía preguntas más variadas y no tan relacionadas con el deporte para ver si el dolor menstrual podría verse relacionado con otros factores. Por ello se preguntó acerca del miedo a utilizar tampón, el dolor que sufre o sufría la madre de la joven y si alguna había acudido al médico o la matrona para aliviar su malestar y si era así que le había aconsejado.

Por último se quiso saber la consideración personal acerca de la poca información en relación a los dolores menstruales.

Esto es un enlace a las preguntas de la encuesta: https://forms.gle/pXN29UdQqSGtcFhAA[3].

4.2. Diseño de los entrenamientos

4.2.1. Ejercicios escogidos

Después de la revisión bibliográfica se llegó a la conclusión de que los mejores ejercicios para disminuir el dolor menstrual son los ejercicios de resistencia aeróbica de bajo impacto a intensidad moderada, los ejercicios de fuerza de fortalecimiento del core (o control muscular) a su vez de bajo impacto, ejercicios de relajación y estiramiento muscular de la zona pélvica.

- Los programas de entrenamiento constan de:
  - *Ejercicios de resistencia:* concretamente aeróbica y moderada que incluían carreras, natación y bicicleta.
  - *Ejercicios de core:* este es el tronco del cuerpo compuesto por los músculos centrales que son los abdominales, los músculos de la espalda y los que rodean la pelvis. Para realizar los ejercicios correctamente se debe respirar libremente y concentrarse en tensar la zona. Los ejercicios que se escogieron fueron:
    a) Flexiones abdominales
    b) Puente
    c) Cuadrupedia
    d) Variaciones para planchas modificadas
    e) Plancha lateral
    f) Variación de flexiones abdominales inferiores
    g) Escaladas o Mountain climbers
    h) Hollow

Se optó por estos ejercicios debido a que eran los más sencillos de realizar sin ayuda externa, es fácil comprender el método de ejecución y son muy comunes por lo que la mayoría de participantes ya sabrían realizarlos previamente.

  - Estiramientos: para realizar extensiones musculares de la zona pélvica se escogieron estiramientos estáticos ya que su principal efecto fisiológico es el alargamiento de las fibras musculares, mejoran la circulación sanguínea y disminuyen el estrés. Concretamente se optó por los siguientes ya que son los más sencillos de hacer en casa y no requieren de asistencia de otra persona:
    a) Estiramiento del gato
    b) Estiramiento lumbosacro
    c) Estiramiento del músculo psoas
    d) Ejercicios de yoga:
       i) Malasana
       ii) Skandasana

Por último, se escogieron ejercicios específicos del yoga ya que pueden ayudar a mantener la zona pélvica sana, relajando la musculatura y liberando tensiones.

Se optó por bandhas que son unos ejercicios que incluyen movimientos básicos que activan la energía pélvica, abdominal y cervical.

Dentro de los ejercicios de bandhas se escogieron los mulabhanda que ayudan a fortalecer el suelo pélvico (región específica de la zona pélvica y lumbar) y son muy similares a los ejercicios de Kegel (ejercicios más complejos con la misma finalidad) .

Los ejercicios de Mulabhanda incluyen muchas posturas pero se optó por únicamente la posición de Malasana y Skandasana[4].

3 Código QR de las preguntas de la encuesta inicial en la sección de anexos.

4 La representación de los estiramientos y ejercicios de core está más adelante, en el apartado 4.2.3.

4.2.2. Principios de entrenamiento deportivo

Para realizar un programa de entrenamiento correcto hay que tener en cuenta los principios de entrenamiento deportivo que permiten alcanzar el objetivo de forma más progresiva y eficiente:

- *Principio de sobrecarga progresiva/ de progresión:*

La carga que se aplica en el ejercicio, en nuestro caso el número de series o repeticiones ya que no se incluye carga externa, debe aumentar poco a poco para que el cuerpo se vea retado y no mantenga la misma resistencia. De esta manera evoluciona y mejora.

- *Principio de supercompensación:*

Se tiene un nivel de rendimiento inicial y al aplicar una carga hay una disminución de este rendimiento. Este descenso se debe a una fase de fatiga debido a la carga aplicada y a que el cuerpo no está acostumbrado.

Es necesario realizar una fase de recuperación (disminución de la carga) durante la fase de aumento de fatiga para poder volver al rendimiento inicial.

Al alcanzar el rendimiento inicial de nuevo se aumenta la carga para poder darse la fase de supercompensación en donde el rendimiento aumentará.

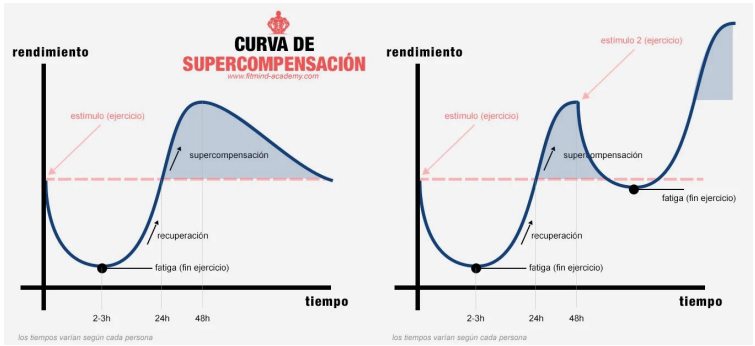


Imagen 3. Curva de supercompensación del entrenamiento de fuerza. Adaptada de "Tiempo de recuperación ideal para aumentar musculatura" (Pacheco, 2024), en FitMind Academy. Recuperado de https://fitmind-academy.com/tiempo-de-recuperacion-ideal-para-aumentar-musculatura/

Imagen 4. Representación gráfica de la curva de supercompensación positiva. Adaptada de "Tiempo de recuperación ideal para aumentar musculatura" (Pacheco, 2024), en FitMind Academy. Recuperado de https://fitmind-academy.com/tiempo-de-recuperacion-ideal-para-aumentar-musculatura/

- *Principio de especificidad:*

Se debe adaptar el entrenamiento a la disciplina que se esté trabajando o a la parte del cuerpo enfocada, realizando ejercicios específicos para dicho objetivo.

- *Principio de individualización:*

Se debe de adaptar el entrenamiento a la persona que lo vaya a realizar ajustando las cargas y los métodos a sus características físicas.

- *Principio de variabilidad:*

El entrenamiento no debe ser repetitivo para impedir el abandono o perder las ganas de realizarlo.

4.2.3. Elaboración y desarrollo de los entrenamientos

Una vez se seleccionaron los ejercicios y los principios de entrenamiento deportivo estuvieron claros se comenzó el diseño de los entrenamientos de forma correcta.

Se organizó la muestra en base a una escala de dolor también utilizada en la encuesta inicial.



Imagen 5. Escala del dolor (imagen adaptada de Mens Health España, s. f.).

Dividimos la muestra de mujeres en cuatro grupos.

- El grupo uno incluye a mujeres que tuvieran un dolor entre el 0-2.
- El grupo dos consta de aquellas participantes que sintieran un nivel de dolor entre 3-5.
- El grupo tres son aquellas que tenían un dolor entre 6-8.
- Por último el grupo cuatro incluye las que tuvieran dolor de 9 o 10.

Una vez organizada la muestra, se decidió realizar cuatro programas de entrenamiento específicos para cada grupo y de esta manera tratar de forma más precisa las diferentes intensidades.

Todos los entrenamientos trabajan los tres puntos clave, la resistencia aeróbica de baja intensidad, los ejercicios de core y la flexibilidad, pero se diferencian en la duración de los ejercicios, el número de series y de repeticiones y en algunos casos en la cantidad de ejercicios a realizar.

Los entrenamientos se realizaron durante 10 semanas comenzando la primera semana de Julio de 2025 hasta la primera semana de Septiembre de 2025. Para que los entrenamientos dieran resultados debían de realizar los ejercicios 3 veces a la semana.

Deporte y Salud menstrual_ Más allá del Rendimiento a color.pdf

	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10
GRUPO 1 (0-2)	**Carrera (20 min):** -intensidad moderada (40%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (10x2) -puente (10x2) -cuadrupedia (10x2) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -lumbosacro (60s) -psoas (60s)	**Carrera (20 min):** -intensidad moderada (45%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (12x2) -puente (12x2) -cuadrupedia (12x2) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -lumbosacro (60s) -psoas (60s)	**Caminata (duración a elegir)** **Ejercicios de core:** -variación de flexiones abdominales inferiores. (30s x 8) (10s descanso) **Estiramientos:** -psoas (80s) -skandasana (80s)	**Natación (20 min):** -intensidad moderada (50%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (15x2) -puente (15x2) -cuadrupedia (15x2) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -malasana (60s) -skandasana (60s)	**Natación (20 min):** -intensidad moderada (55%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (17x2) -puente (17x2) -cuadrupedia (17x2) -plancha lateral (30sx2) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -malasana (60s) -skandasana (60s)	**Caminata (duración a elegir)** **Ejercicios de core:** -variación de flexiones abdominales inferiores. (30s x 10) (10s descanso) **Estiramientos:** -psoas (80s) -skandasana (80s)	**Bicicleta (20 min):** -intensidad moderada (60%) **Ejercicios de core:** -variaciones para planchas modificadas (30sx3) -plancha lateral (35sx2) -escaladas (30sx3) -hollow (30sx3) 5s descanso **Estiramientos:** -lumbosacro (60s) -malasana (60s) -psoas (60s)	**Bicicleta (25 min):** -intensidad moderada (60%) **Ejercicios de core:** -variaciones para planchas modificadas (35sx3) -plancha lateral (45sx2) -escaladas (35sx3) -hollow (35x3) 5s descanso **Estiramientos:** -lumnosacro (60s) -malasana (60s) -psoas (60s)	**Caminata (duración a elegir)** **Ejercicios de core:** -variaciones de flexiones abdominales inferiores (30sx10) (10s descanso) **Estiramientos:** -psoas (80s) -skandasana (80s)	**Carrera (30 min):** -intensidad moderada (60%) **Ejercicios de core:** -variaciones para planchas modificadass (40sx3) -plancha lateral (55sx2) -escaladas (40sx3) -hollow (40sx3) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -skandasana (60s) -lumbosacro (60s)
GRUPO 2 (3-5)	**Carrera (15 min):** -intensidad moderada (40%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (7x2) -puente (7x2) -cuadrupedia (7x2) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -lumbosacro (60s) -psoas (60s)	**Carrera (15 min):** -intensiad moderada (45%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (10x2) -puente (10x2) -cuadrupedia (10x2) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -lumbosacro (60s) -psoas (60s)	**Caminata (duración a elegir)** **Ejercicios de core:** -variación de flexiones abdominales inferiores. (30s x 8) (15s descanso) **Estiramientos:** -psoas (80s) -skandasana (80s)	**Natación (15 min):** -intensidad moderada (50%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (12x2) -puente (12x2) -cuadrupedia (10x2) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -malasana (60s) -skandasana (60s)	**Natación (15 min):** -intensidad moderada (55%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (15x2) -puente (15x2) -cuadrupedia (15x2) -plancha lateral (25sx2) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -malasana (60s) -skandasana (60s)	**Caminata (duración a elegir)** **Ejercicios de core:** -variación de flexiones abdominales inferiores. (30s x 10) (15s descanso) **Estiramientos:** -psoas (80s) -skandasana (80s)	**Bicicleta (15 min):** -intensidad moderada (60%) **Ejercicios de core:** -variaciones para planchas modificadas (35sx2) -plancha lateral (30sx2) -escaladas (35sx2) -hollow (35x2) 5s descanso **Estiramientos:** -lumbosacro (60s) -malasana (60s) -psoas (60s)	**Bicicleta (20 min):** -intensidad moderada (60%) **Ejercicios de core:** -variaciones para planchas modificadas (45sx2) -plancha lateral (40sx2) -escaladas (45sx2) -hollow (45x2) 5s descanso **Estiramientos:** -lumnosacro (60s) -malasana (60s) -psoas (60s)	**Caminata (duración a elegir)** **Ejercicios de core:** -variaciones de flexiones abdominales inferiores (30sx10) (10s descanso) **Estiramientos:** -psoas (80s) -skandasana (80s)	**Carrera (25 min):** -intensidad moderada (60%) **Ejercicios de core:** -variaciones para planchas modificadass (55sx2) -plancha lateral (50sx2) -escaladas (55sx2) -hollow (55sx2) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -skandasana (60s) -lumbosacro (60s)
GRUPO 3 (6-8)	**Carrera (15 min):** -intensidad moderada (35%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (5x2) -puente (5x2) -cuadrupedia (5x2) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -lumbosacro (60s)	**Carrera (15 min):** -intensidad moderada (40%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (7x2) -puente (7x2) -cuadrupedia (7x2) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -lumbosacro (60s)	**Caminata (duración a elegir)** **Ejercicios de core:** -Variación de flexiones abdominales inferiores. (30s x 6) (15s descanso) **Estiramientos:** -psoas (80s) -skandasana (80s)	**Natación (15 min):** -intensidad moderada (45%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (10x2) -puente (10x2) -cuadrupedia (10x2) 5s descanso **Estiramientos:** -malasana (60s) -skandasana (60s)	**Natación (15 min):** -intensidad moderada (50%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (12x2) -puente (12x2) -cuadrupedia (12x2) -plancha lateral (15sx2) 5s descanso **Estiramientos:** -malasana (60s) -skandasana (60s)	**Caminata (duración a elegir)** **Ejercicios de core:** -Variación de flexiones abdominales inferiores. (30s x 8) (15s descanso) **Estiramientos:** -psoas (80s) -skandasana (80s)	**Bicicleta (15 min):** -intensidad moderada (55%) **Ejercicios de core:** -variaciones para planchas modificadas (25sx2) -plancha lateral (20sx2) -escaladas (25sx2) -hollow (25sx2) 5s descanso **Estiramientos:** -lumbosacro (60s) -malasana (60s) -psoas (60s)	**Bicicleta (20 min):** -intensidad moderada (55%) **Ejercicios de core:** -variaciones para planchas modificadas (35sx2) -plancha lateral (30sx2) -escaladas (35sx2) -hollow (35sx2) 5s descanso **Estiramientos:** -lumnosacro (60s) -malasana (60s) -psoas (60s)	**Caminata (duración a elegir)** **Ejercicios de core:** -variaciones de flexiones abdominales inferiores (30sx10) (10s descanso) **Estiramientos:** -psoas (80s) -skandasana (80s)	**Carrera (25 min):** -intensidad moderada (55%) **Ejercicios de core:** -variaciones para planchas modificadass (45sx2) -plancha lateral (40sx2) -escaladas (45sx2) -hollow (45sx2) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -skandasana (60s) -lumbosacro (60s)
GRUPO 4 (9-10)	**Carrera (10 min):** -intensidad moderada (35%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (5x2) -puente (5x2) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -lumbosacro (60s)	**Carrera (10 min):** -intensidad moderada (40%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (7x2) -puente (7x2) 5s descanso **Estiraminetos:** -gato (60s) -lumbosacro (60s)	**Caminata (duración a elegir)** **Ejercicios de core:** -Variación de flexiones abdominales inferiores. (30s x 6) (20s descanso) **Estiramientos:** -psoas (80s) -skandasana (80s)	**Natación (10 min):** -intensidad moderada (45%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (10x2) -puente (10x2) 5s descanso **Estiramientos:** -malasana (60s) -skandasana (60s)	**Natación (10 min):** -intensidad moderada (50%) **Ejercicios de core:** -flexiones abdominales (12x2) -puente (12x2) -cuadrupedia (12x2) 5s descanso **Estiramientos:** -malasana (60s) -skandasana (60s)	**Caminata (duración a elegir)** **Ejercicios de core:** -Variación de flexiones abdominales inferiores. (30sx8) (20s descanso) **Estiramientos:** -psoas (80s) -skandasana (80s)	**Bicicleta (10min):** -intensidad moderada (55%) **Ejercicios de core:** -variaciones para planchas modificadas (10sx3) -plancha lateral (10sx3) -escaladas (10sx3) -hollow (10sx3) 5s descanso **Estiramientos:** -lumbosacro (60s) -gato (60s)	**Bicicleta (15 min):** -intensidad moderada (55%) **Ejercicios de core:** -variaciones para planchas modificadas (15sx3) -plancha lateral (15sx3) -escaladas (15sx3) -hollow (15x3) 5s descanso **Estiramientos:** -lumnosacro (60s) -malasana (60s) -psoas (60s)	Caminata (duración a elegir) Ejercicios de core: -variaciones de flexiones abdominales inferiores (30sx10) (10s descanso) **Estiramientos:** -psoas (80s) -skandasana (80s)	**Carrera (20 min):** -intensidad moderada (55%) **Ejercicios de core:** -variaciones para planchas modificadass (20sx3) -plancha lateral (20sx3) -escaladas (20sx3) -hollow (20sx3) 5s descanso **Estiramientos:** -gato (60s) -skandasana (60s) -lumbosacro (60s)

Tabla 1. (Elaboración propia). Entrenamientos específicos para los cuatro grupos de mujeres.

Esta tabla es el diseño de los entrenamientos, en el eje horizontal se observa la progresión de las semanas. Cada color es un grupo, el verde corresponde con aquellas mujeres con menor dolor menstrual, grupo uno (0-2), el amarillo son dichas participantes que sentían un dolor leve, grupo dos (3-5), las jóvenes con dolor notorio siguieron los entrenamientos del color naranja, grupo tres (6-8) y por útlimo aquellas chicas con dolor muy intenso realizaron los entrenamientos en color rojo, grupo cuatro (9 y 10) [5].

5 Aparte de la imagen y el enlace, la tabla de entrenamientos también está como código QR en la sección de anexos.

Para hacer llegar la tabla de entrenamientos a todas las participantes se creó un canal en la plataforma de Youtube donde se subió un vídeo explicando la tabla, otro explicando cómo se realizan correctamente los ejercicios (en el que salgo ejecutando cada uno frente a la cámara) y una publicación de la tabla para que puedan acceder a ella a través del canal.

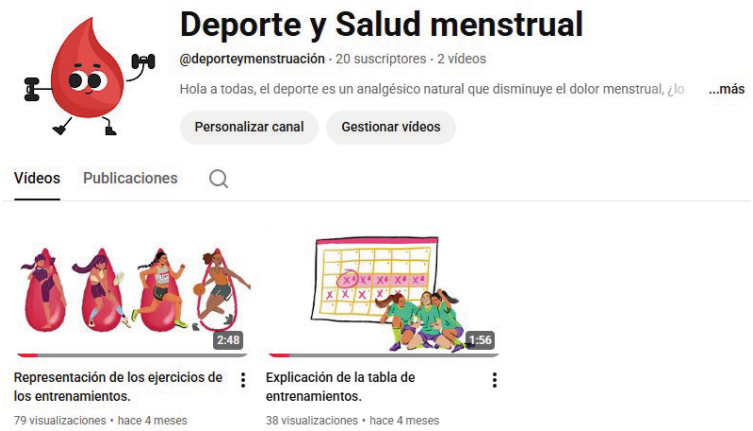


Imagen 6. (Elaboración propia). Entrada principal del canal de Youtube.

Enlace a la plataforma: Canal de youtube con los entrenamientos [6].

Ambas portadas de los vídeos se realizaron manualmente a través de Canva, son diseñadas con elementos gráficos que aporta la plataforma.



Imagen 7. (Elaboración propia). Diseño del pdf divulgativo.

Luego se creó un pdf, de nuevo con Canva, que incluye una breve explicación para animar a las jóvenes a realizar el experimento, y se hizo llegar a todas ellas para que fuera fácil y rápido el acceso al canal.

Enlace al Pdf del diseño: Pdf del diseño para distribuir.

4.3. Diseño de la encuesta final

Esta encuesta se envió una vez terminaron las diez semanas de entrenamientos y se indicó que sólo podían realizarla aquellas mujeres que ya habían tomado parte en la primera sección del experimento.

Se relaciona a las participantes con la encuesta inicial, de forma anónima, de la misma manera que al principio.

Se hicieron algunas de las mismas preguntas previas para analizar el progreso, mejora, cambio o variación que ocasionaron los ejercicios. Entre ellas se preguntó el nivel de dolor menstrual posterior a los entrenamientos, las actividades que se ven incapacitadas a ejecutar durante la menstruación actualmente, cambios en su estado de ánimo, variación de su dieta durante el ciclo, por si el deporte influía en ese factor, preguntas acerca de su percepción personal sobre su molestia actual y la normalización de la misma. Se consultó en cuanto al uso actual de analgésicos y se preguntó de nuevo si practicaban algún deporte y la especificación del mismo ya que si alguna dejó de realizarlo también podría influir en los resultados.

Además de estas cuestiones también se quiso saber la opinión personal sobre los ejercicios y la realización de estos.

Primero se les consultó si creían, subjetivamente, que su dolor había variado. En relación a los entrenamientos se averiguó la frecuencia con la que los realizaban, la parte del entrenamiento que más les costó y si pensaban incorporarlos en sus rutinas, ya que esto querría decir que por mínimo que fuera les había ayudado.

Por último se quiso saber si alguna otra característica de su menstruación incluyendo la abundancia, la regularidad o la duración había variado. Esto se hizo por sí el deporte también afectaba a estos factores.

Se debe destacar que también se quiso saber acerca de la opinión personal de los entrenamientos generales ya que durante la revisión bibliográfica muchos experimentos daban importancia a la sensación de la muestra ya que dependiendo de cómo se sientan, los resultados pueden variar, si no se encuentran seguros y a gusto se produce mayor abandono.

Esto es un enlace a las preguntas de la segunda encuesta: https://forms.gle/FKisEDJdsF6XBd3h8 [7]

6 También se incluye un código QR del canal de Youtube en la sección de anexos.
7 Se incluye un código QR en la sección de anexos con estas preguntas.

Además se llevó a cabo el diseño y distribución de una entrevista a dos jóvenes anónimas de cada grupo, en total ocho participantes, a las cuales se les preguntaron una serie de cuestiones y después se analizó cada una de las respuestas para adquirir una perspectiva más cercana de la sensación de las participantes [8].

5. Experimentación y recogida de datos

5.1. Análisis de la encuesta inicial

En total contamos con una muestra de 90 mujeres entre catorce y veinte años a las que preguntamos:

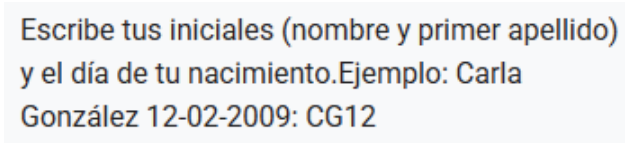


Imagen 8. (Elaboración propia sacada de una pregunta del cuestionario de Google Forms).

Este código se utilizó para que fuera anónimo y se pudiera relacionar a las chicas en la primera y la segunda encuesta.

En el siguiente gráfico se muestran las edades de las participantes. El 6.7% de las entrevistadas tienen catorce años, el 7.8% quince, un 32.2% alcanza los dieciséis, el 24.4% llega a los diecisiete años, en la muestra hay un 21.1% de mujeres de dieciocho años, sólo el 2.2% declara tener diecinueve y el 5.6% son jóvenes de 20 años.

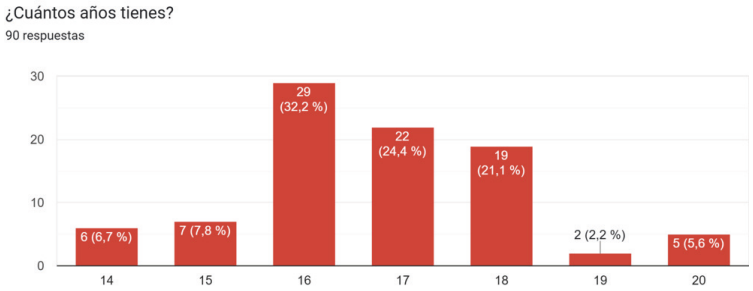


Gráfico 1. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En el siguiente diagrama se pregunta la edad a la que tuvieron su primera menstruación. Se observa que al 2.2% de chicas tuvo su menarquía con menos de once años, el 23.3% con once, un 32.2% con doce años, al 30% con trece años, al 12.2% con catorce años y al 0% con más de catorce años.



Gráfico 2. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

La siguiente pregunta se basa en esta escala de dolor:



Imagen 9. Escala del dolor (imagen adaptada de Mens Health España, s. f.).

En el siguiente gráfico se pregunta acerca del dolor menstrual de las participantes. Se observa que el 3.3% de mujeres tienen un dolor menstrual de nivel de dolor cero, el 8.9% tienen un dolor de nivel uno y lo mismo ocurre con el nivel dos, el 17.8% tienen un nivel tres dándose el mismo caso en el nivel cuatro, nuevamente el 8.9% de mujeres tienen un dolor de nivel cinco con el mismo porcentaje en el nivel seis, el 10% tienen un dolor de nivel siete, el 5.6% sufren un dolor de nivel nueve y el 2.2% de mujeres tienen un nivel de dolor 10.

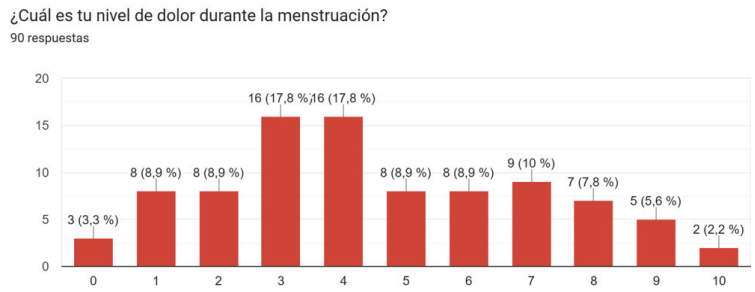


Gráfico 3. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

Cuando se pregunta en la próxima cuestión la regularidad del ciclo de cada joven se analiza que la mayoría de mujeres, el 57.8%, no sufren reglas irregulares mientras que el 42.2% sí.

8 Véase dicho proceso en el correspondiente código QR de la sección de anexos.

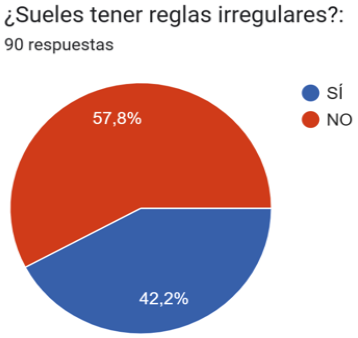


Gráfico 4. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En este gráfico se preguntó a dichas mujeres que explicaron que su regla era regular cada cuántos días le venía el ciclo. Sólo contestaron 69 encuestadas y los resultados muestran que el 18.8% tiene la regla cada 28 días, el 26.1% menstrua cada 29 días, un 23.2% cada 30 días, el 10.1% respondió que entre sus ciclos pasan más de 30 días y un 21.7% asegura que su periodo aparece con menos de 28 días de diferencia.

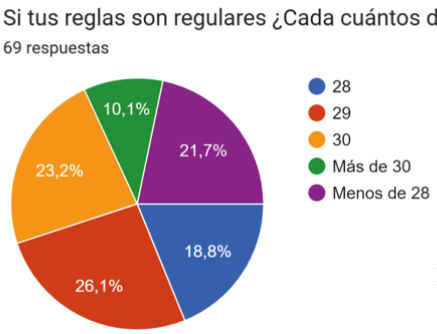


Gráfico 5. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En la siguiente ilustración se consulta la duración del periodo menstrual y se muestra que a un 1.1% de las encuestadas le dura la menstruación dos días, a un 4.4% de jóvenes tres días, al 25.6% le perdura durante cuatro días, al 42.2% un periodo de cinco días y un 26.7% de las mujeres determinan una duración de más de cinco días.



Gráfico 6. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En el gráfico subsecuente en el que se interroga acerca de la incapacidad para realizar actividades durante el ciclo, se observa que a más de la mitad de la muestra, el 51.1%, la menstruación no le incapacita mientras que al 36.7% sí y al 12.2% a veces.



Gráfico 7. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En la cuestión que sigue se quiso saber qué actividades no podían realizar debido al malestar menstrual aquellas mujeres que en la pregunta previa especificaron que sí se veían incapacitadas. Respondieron 40 participantes de las cuales el 50% explica que la menstruación las incapacita para realizar deporte o esfuerzo físico, el 27.5% asegura tener complicaciones en la mayoría de actividades cotidianas a causa del periodo, el 15% determina que durante el ciclo disminuye su capacidad de concentración en los estudios y es más incómodo realizar esfuerzo físico y por último el 7.5% muestra malestar al dormir, al realizar deportes y una degradación del estado de ánimo durante el periodo menstrual.

Es preciso destacar que muchas participantes mencionan que durante la menstruación experimentan mareos, sensación de vómito, dolores de cabeza o falta de ganas a la hora de realizar cualquier actividad.

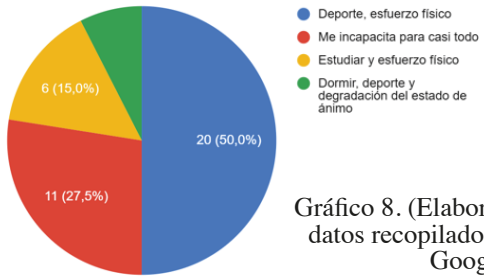


Gráfico 8. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En el siguiente diagrama se indaga acerca de la variación de la actitud durante el ciclo y debido a esto, la incapacidad de realizar actividades. Se examina que el 47.8% de mujeres sí experimentan cambios en su estado de ánimo durante el periodo mientras que un 26.7% únicamente a veces y un 25.6% no siente modificaciones.



Gráfico 9. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

La pregunta siguiente aparenta ser muy similar a la pregunta nueve pero varía ya que en esta cuestión observamos que hay más mujeres que se ven afectadas en sus actividades cotidianas, no por el dolor que las supone el ciclo, como se pregunta en la nueve, sino por sus cambios de ánimo durante el periodo contando con 61 mujeres que respondieron sí o a veces.

Es una opción múltiple por lo que se determina que debido a una alteración de su estado de ánimo principalmente experimentan cambios de humor constantes, mayor sensibilidad e irritación que afecta en sus actividades del día a día con un 34.4%. Seguidamente se observa que también se ven incapacitadas en realizar esfuerzo físico debido al cambio de actitud con un 32.8%. A su vez, la pereza y el cansancio causan menos ganas de salir e interactuar y se ve reflejado en la gráfica ya que ambas son el 24.6%. Muchas participantes afirman que debido al cambio de ánimo su capacidad de concentración se ve alterada y reflejada en los estudios escolares con el 21.3%. Un 11.5% explica que durante la menstruación ya fuera por el dolor o su estado de ánimo se ven incapacitadas para apenas realizar esfuerzos. Por último, un 1.6% de mujeres muestra complicaciones a la hora de dormir por su alteración de la actitud durante el ciclo.

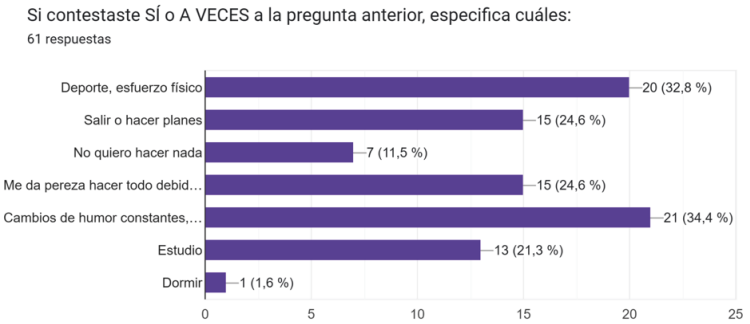


Gráfico 10. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En el diagrama consecutivo se consulta acerca de la alimentación de las mujeres durante la menstruación. Se puede analizar que más de la mitad de las jóvenes, con un 55.6%, mantienen la misma dieta durante el periodo, el 17.8% asegura que puede variar y un 26.7% de encuestadas afirman que su alimentación no es diferente durante el ciclo.

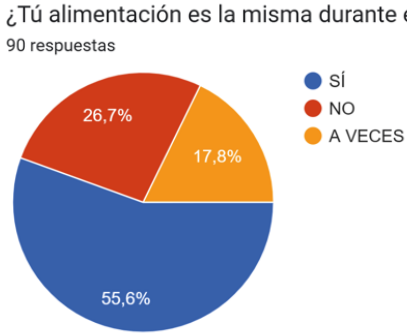


Gráfico 11. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En la ilustración que sigue se pregunta sobre el uso de analgésicos o medicamentos durante el periodo. Se estudia que un 13.3% toma paracetamol y de mismo valor el naproxeno, el 36.7% por mayoría hace uso de ibuprofeno, un 1.1% se refleja en las opciones de ibuprofeno y paracetamol, naproxeno y anticonceptivas, buscapina y enantyum e ibuprofeno. Las píldoras anticonceptivas son escogidas por el 3.3% de mujeres y por último el 28.9% de las encuestadas no toman ningún analgésico.

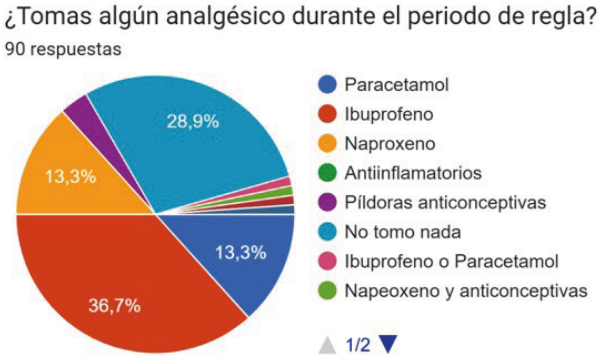


Gráfico 12. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En el diagrama consecuente se indaga acerca de la práctica deportiva de la muestra. El 65.6% de jóvenes sí realizan algún deporte y el 34.4% no.

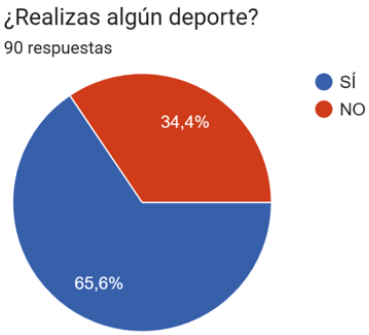


Gráfico 13. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

La pregunta siguiente, en la que se quiere conocer qué deporte en específico se practica, era de opción múltiple a la que sólo contestaron 58 encuestadas y se muestra que por mayoría con un 25.9% van al gimnasio; seguidamente con el 24.1% realizan atletismo o corren; el voleibol tiene un porcentaje de 12.1%; equitación tiene una cifra de 8.6%; gimnasia rítmica, natación, baile y baloncesto tienen todas un valor de 6.9%; un 5.2% realiza pádel; crossfit, ciclismo y floorball tiene una estimación de 3.4% y por último taekwondo, senderismo, frontón, pilates, karate y yudo tienen un valor de 1.7%.

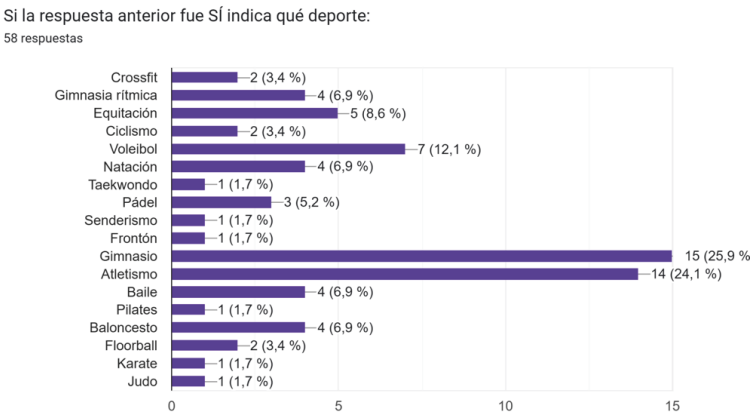


Gráfico 14. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En la ilustración que subsigue se pregunta la recurrencia de la práctica de deporte. Se analiza que el 32.2% son mujeres que no realizan ningún deporte, el 3.3% ejercita su deporte una vez a la semana, un 21.1% dos días a la semana, un porcentaje del 23.3% ejecuta sus entrenamientos tres veces a la semana, 13,3% de encuestadas practican su deporte cuatro días a la semana y por último el 6.7% entrena más de tres veces a la semana.

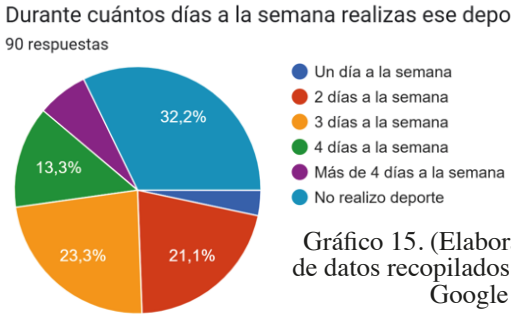


Gráfico 15. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En la cuestión que sigue se preguntó a aquellas jóvenes que sí realizaban esfuerzo físico si también lo ejecutaban durante la menstruación. Se estudia que un 54.4% de participantes también practican su deporte durante el periodo menstrual, el 14.4% de mujeres que realizan ejercicio físico durante el periodo no acuden a los entrenamientos y por último un 31.1% son aquellas que no ejercitan ningún deporte.

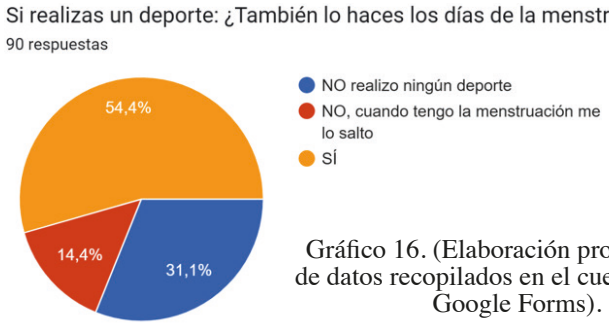


Gráfico 16. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En la ilustración subsecuente se quiso averiguar si la muestra prefería realizar deporte o ejercicios físicos. Un 35.6% prefieren practicar un deporte, un 14.4% optan por ejercicios físicos específicos, el 37.8% decide que ambas opciones y cuatro personas con un 1.1% explican que le da igual, aclaran que prefieren deporte aunque requiere más compromiso que los ejercicios físicos, establecen que dependiendo en qué ocasión o en general que no querría ninguna de las dos.

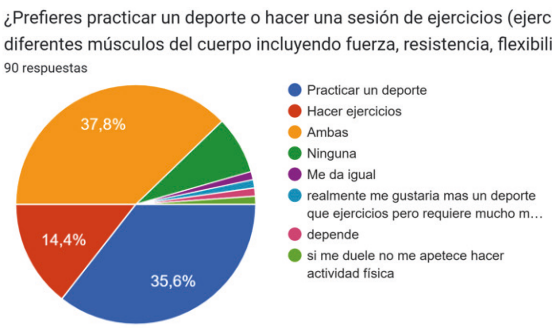


Gráfico 17. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En el siguiente diagrama se preguntó si las participantes soportaban ciertos malestares menstruales. Se puede analizar que un 32.2% de participantes normaliza sus dolores porque cree que no son para tanto, un 14.4% no los estandariza porque no siente apenas dolor, el 33.3% cuando experimenta dolores menstruales se toma algún medicamento por lo que no los normaliza sino que hace algo frente a la situación, gracias a investigaciones individuales el 4.4% sabe como disminuir su dolor y no lo normaliza. Por último el 15.6% de jóvenes soporta la molestia sin encontrar solución.

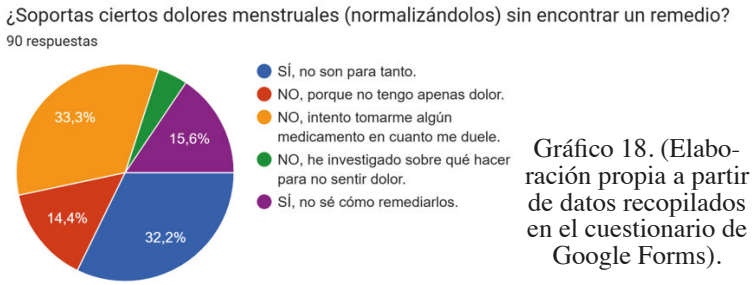


Gráfico 18. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

- Análisis de cuestiones no relacionadas con los entrenamientos:

En la siguiente cuestión se analiza si el uso de tampón crea malestares en las mujeres y se observa que un 14.4% siente molestia y no le gusta la sensación junto con un 4.4% que afirma que tiene miedo de ponérselo pero por otro lado a un 58.9% no le supone un impedimento al igual que a un 22.2% que se muestra indiferente.



Gráfico 19. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En relación con una explicación hereditaria, en la siguiente ilustración se pregunta si las madres sufrían molestias menstruales. Un 34.4% no lo sabe, el 22.2% asegura que no tenía/tiene dolores y un 43.3% determina que sí tolera/toleraba.



Gráfico 20. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En el gráfico consecutivo se pregunta si las participantes han acudido al médico o a la matrona a causa de sus dolores menstruales. La mayoría, un 77.8% de jóvenes no han acudido a un profesional mientras que un 22.2% sí.

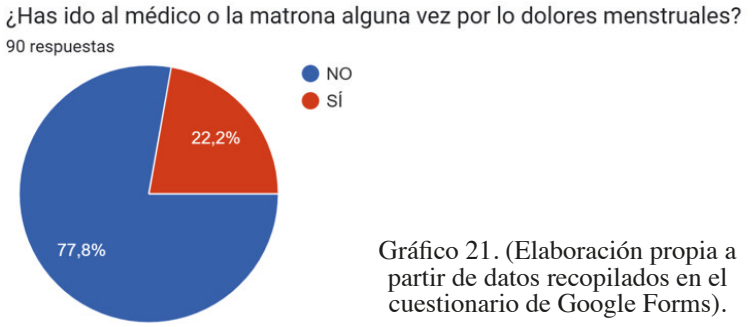


Gráfico 21. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En el diagrama que sigue se pregunta acerca de lo que el profesional recomienda en caso de que las participantes sí hubieran acudido al médico. A ninguna chica que haya acudido a un experto le han recomendado ejercicio físico mientras que a un 7.8% les aconsejan las píldoras anticonceptivas, el 12.2% asegura que le hayan sugerido los analgésicos o antiinflamatorios, a un 3.3% le han dicho que es común y normal por lo que no le propusieron nada y por último ,el 76.7%, más de la tercera parte, son aquellas mujeres que nunca han acudido a un profesional.



Gráfico 22. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En la última gráfica se pregunta sobre el conocimiento acerca del dolor menstrual. El 18.9% opina que no es un tema tabú, un 17.8% no se posiciona y por mayoría un 63.3% cree que no se conoce tanto sobre el dolor menstrual.

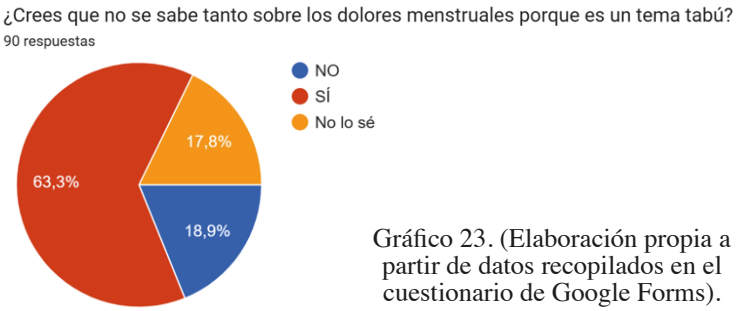


Gráfico 23. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

5.2. Análisis de la encuesta final

En la segunda encuesta participaron las mismas 90 jóvenes de entre catorce y veinte años que tomaron parte en la primera encuesta.

La primera pregunta que se hizo fue:

Escribe tus iniciales (nombre y primer apellido) y el día de tu nacimiento.
Ejemplo: Carla González 12-02-2009: CG12

Imagen 10. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

De esta manera se pudo relacionar a las participantes con el primer cuestionario anónimamente.

La siguiente pregunta, en la que se indaga acerca del dolor menstrual de la muestra tras los ejercicios, se basa en la misma escala de dolor que la primera encuesta:

Se puede observar en esta cuestión que siete jóvenes, una vez realizados los entrenamientos, tienen un dolor cero y el mismo número de ellas confirman tener un nivel de siete. Diez sufren molestias de nivel uno y se percibe el mismo porcentaje de mujeres tanto en el nivel dos como en el tres de un 16.7%. Con mayor valor, dieciocho chicas marcan un nivel de cuatro. Doce mujeres aseguran tener dolor de nivel cinco y cuatro participantes de nivel seis. Por último sólamente una mujer marca el nivel ocho y otra el diez siendo cero el número de mujeres con dolor de nivel nueve.

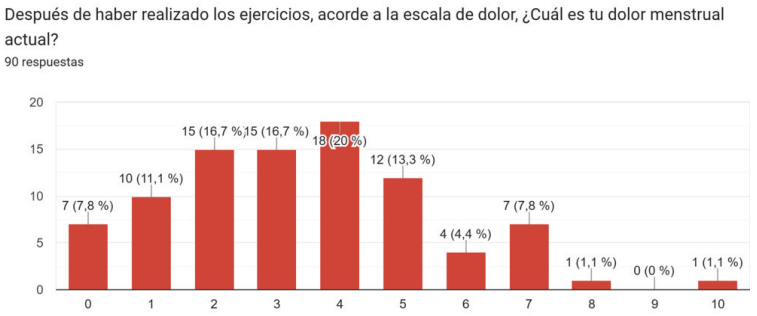


Gráfico 24. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En esta pregunta se preguntó subjetivamente si cada participante había notado un cambio en su malestar. 56 mujeres aseguran haber notado mejoras en cuanto a su dolor menstrual junto con ocho que determinaron que esta variación era leve. Por otro lado siete jóvenes no se decantaban por ninguna respuesta y por último diecinueve describen no haber notado cambios pero cabe destacar que la mayoría especificaba que era debido a que su dolor inicialmente era escaso.

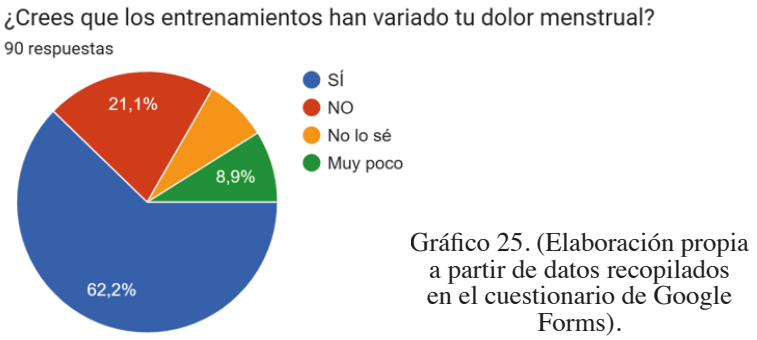
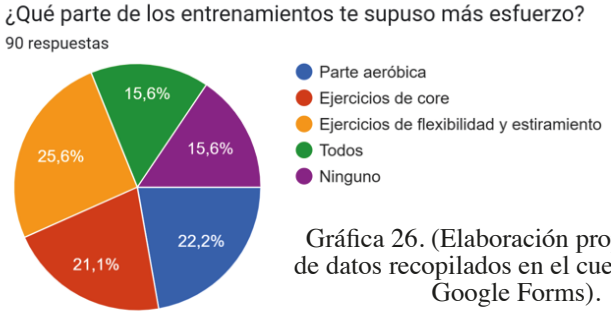


Gráfico 25. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En el siguiente diagrama está claro que hubo gran variación en cuanto a qué ejercicio era más complejo de realizar.

Catorce participantes determinan dificultad en todos y a su vez la misma cantidad en ninguno. Veintitrés chicas aseguran que les supuso mayor esfuerzo los ejercicios de flexibilidad y a diecinueve los ejercicios de core. Por último, veinte marcan como yor complejidad la parte aeróbica del entrenamiento.



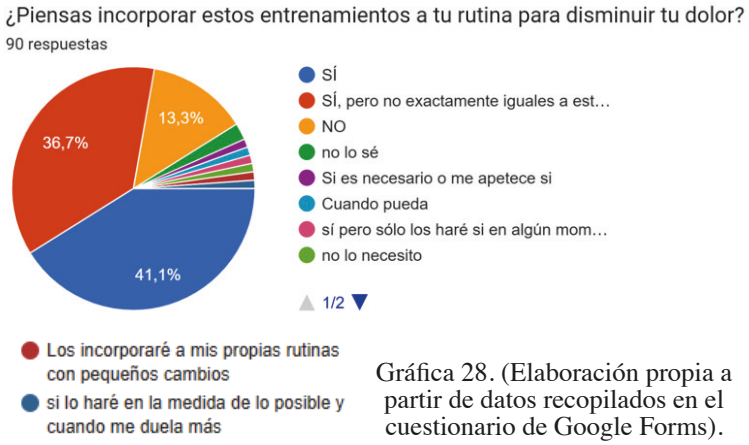
Gráfica 26. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En la gráfica subsecuente se cuestiona los días que se realizaron los ejercicios, estando establecido que tres a la semana era lo ideal. Por mayoría se analizó que 31 mujeres sólamente realizaron los ejercicios durante el periodo menstrual. Dieciséis jóvenes lo han hecho todas las semanas pero no los tres días propuestos al contrario que once encuestadas que realizaron los ejercicios algunas semanas pero sí tres veces dichas semanas. Por último, diecinueve participantes no los han ejecutado las diez semanas diseñadas ni los tres días esperados, al contrario que trece mujeres que siguieron el entrenamiento completo.



Gráfica 27. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En la siguiente gráfica se pregunta si las participantes incorporarán estos ejercicios a sus rutinas diarias. Se estudia que 37 participantes están dispuestas a incluir estos entrenamientos en su día a día, al igual que otras 33 que los incluirán pero con una serie de variaciones. Doce mujeres no incorporarán los ejercicios a sus rutinas y dos no lo saben. El resto determina que lo harán cuando puedan, menos una persona que explica que no porque no lo necesita.



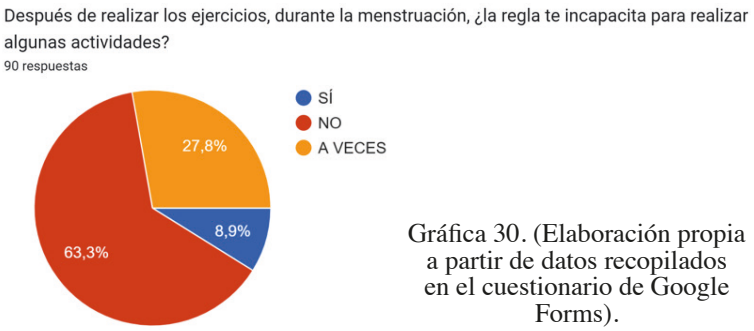
Gráfica 28. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En la gráfica que sucede se pregunta si la muestra notó algún cambio más a parte de la posible variación del dolor. Se puede analizar que 25 mujeres, tras realizar los entrenamientos, también notaron una variación en la regularidad de su ciclo. Únicamente diez percibieron un cambio en la abundancia de su periodo y catorce chicas experimentaron diferencias en la duración de su tiempo menstrual. El resto explican que no notaron más cambios a parte de una alteración del dolor.



Gráfica 29. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En la siguiente ilustración se preguntó a las encuestadas acerca de su incapacidad por realizar ciertas actividades durante el periodo tras haber realizado los entrenamientos. En mayoría, 57 jóvenes aseguran no tener dificultades, mientras que 25 sí. Ocho determinan que a veces.



Gráfica 30. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

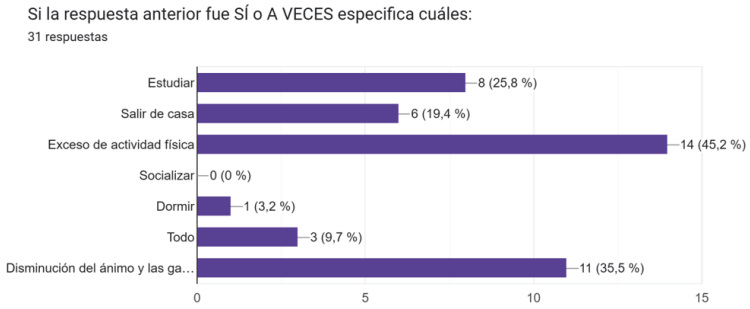
En la siguiente cuestión sobre la especificación de las actividades que no podían realizar durante el periodo, se debe destacar que muchas de ellas explicaron previamente en la respuesta que dichas actividades se debían a causa del cansancio o mal humor que les ocasiona el periodo o dichas actividades en exceso.

Esta pregunta no era obligatoria por lo que sólo contestaron 31 personas obteniendo por tanto 59 mujeres las cuales no se ven incapacitadas.

Las cifras con la gráfica anterior son diferentes ya que dos de las mujeres que marcaron SÍ o A VECES no contestaron esta cuestión.

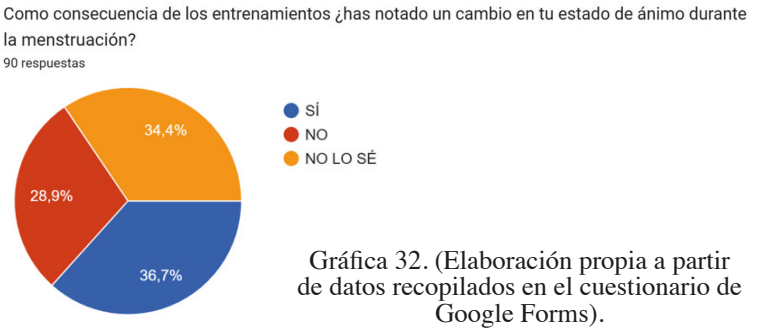
Además esta cuestión es de opción múltiple.

En mayoría, catorce jóvenes explicaron que durante la menstruación les costaba realizar actividad física en exceso. Seguidamente once chicas determinaron que durante el periodo algunas actividades requieren mayor esfuerzo debido a la disminución del ánimo y las ganas. Estudiar supone un problema para ocho de ellas durante el ciclo menstrual. Salir de casa (muchas de ellas lo explicaron como similar a socializar por lo que esta opción tiene un 0%) es complicado para seis participantes, todas las actividades suponen un esfuerzo para tres y dormir para una encuestada.



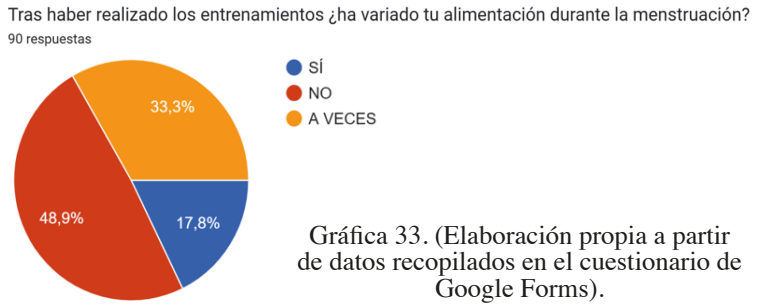
Gráfica 31. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

La siguiente gráfica, en la que se pregunta acerca de la alteración de la actitud de las participantes, está bastante equilibrada y se observa que 33 participantes sí notan cambios de ánimo posteriores a la realización de ejercicios, 31 personas no están seguras y 26 chicas determinan que no ha variado su actitud.



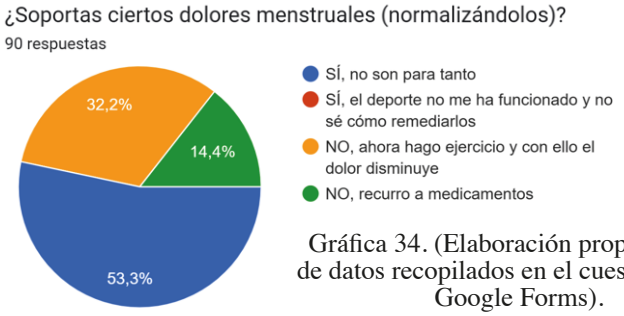
Gráfica 32. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En cuanto a la alimentación, prácticamente la mitad de las encuestadas, 44, aseguran que no ha variado su dieta tras efectuar los entrenamientos. Treinta confirman que suele variar y dieciséis afirman que sí ha variado.



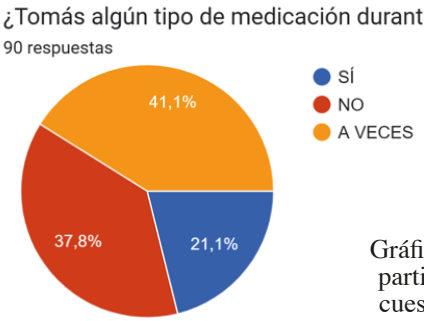
Gráfica 33. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En el diagrama subsiguiente, en el que se pregunta acerca de la normalización de los malestares menstruales, se analiza que más de la mitad, 48, garantizan que soportan su dolor menstrual debido a que no lo perciben como incapacitante. Más de un cuarto, 29 mujeres, ahora recurren al ejercicio físico para aliviar su malestar y trece emplean medicamentos para mejorar su dolor siendo por lo tanto cero jóvenes las que determinan que el deporte no les ha funcionado y que aún no saben qué hacer.



Gráfica 34. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

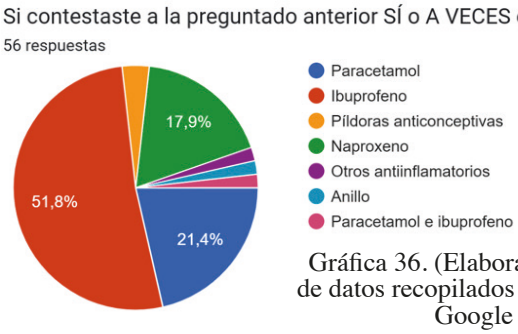
La siguiente pregunta es en relación con el uso de medicación durante el periodo menstrual. Se estudia que 34 encuestadas, tras los ejercicios, no toman medicación, 37 chicas a veces y diecinueve sí recurren a analgésicos.



Gráfica 35. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

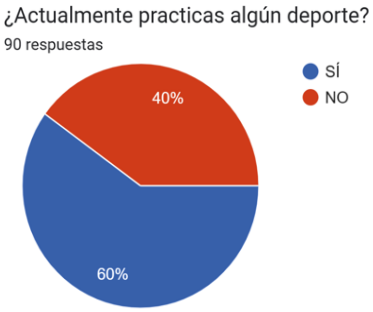
A esta pregunta contestaron aquellas participantes que en la previa cuestión contestaron sí o a veces, por lo tanto un total de 56 personas.

Más de la mitad, 29 chicas, toman ibuprofeno. Doce especificaron paracetamol, diez naproxeno, dos emplean píldoras anticonceptivas y por último una persona se decide por otros antiinflamatorios, otra por el anillo y otra que toma tanto paracetamol como ibuprofeno.



Gráfica 36. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

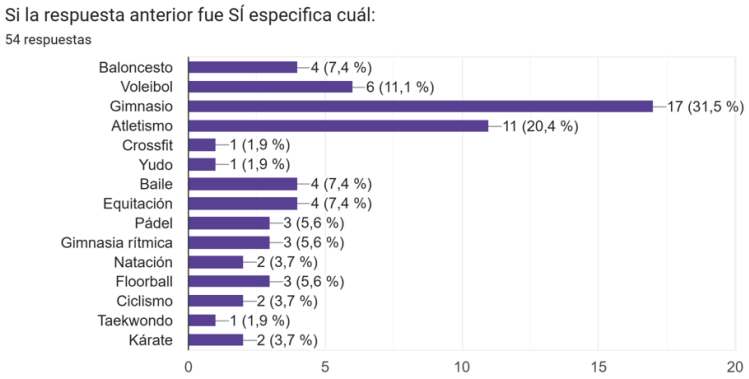
En esta pregunta se quiso saber acerca de la práctica de un deporte por parte de la muestra. En el diagrama se observa que 54 jóvenes sí realizan deporte y el resto no.



Gráfica 37. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

Esta cuestión era de opción múltiple a la que sólo contestaron las personas que en la previa pregunta marcaron que sí hacían deporte.

Se analiza que diecisiete encuestadas van al gimnasio; once hacen atletismo o salen a correr; voleibol es realizado por seis jóvenes; baloncesto, baile y equitación es practicado por cuatro chicas cada actividad; pádel, gimnasia rítmica y floorball son deportes ejercitados por tres mujeres cada uno. La natación, el ciclismo y kárate son escogidos por dos personas cada uno y crossfit, yudo y taekwondo lo hacen una persona cada uno.



Gráfica 38. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

Por último se hizo una pregunta para valorar la actividad y obtener la opinión de cada chica.

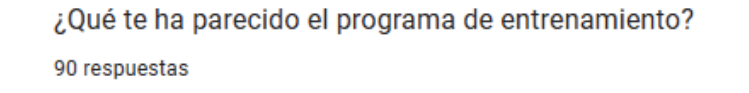


Imagen 11. (Elaboración propia a partir de datos recopilados en el cuestionario de Google Forms).

En esta pregunta hubo todo tipo de respuestas incluyendo agradecimientos, exaltación de las buenas explicaciones, la cantidad de información bien mostrada y el fácil seguimiento entre otros [9].

9 Se seleccionaron algunas respuestas incluidas en un código QR en la sección de anexos.

5.3. Comparación de las encuestas

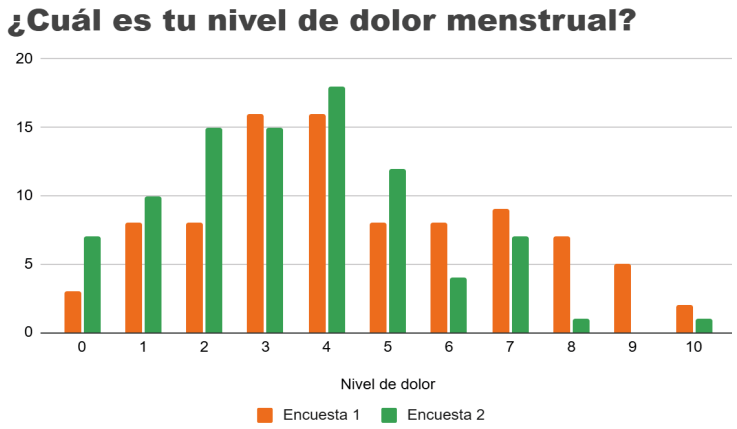
En este apartado se comparan aquellas preguntas pertenecientes a la primera y a la segunda encuesta. En todas las gráficas el color naranja hará referencia a los resultados de la encuesta uno y el color verde a los de la encuesta dos.

En la siguiente gráfica se comparan las respuestas en relación a la pregunta acerca del dolor menstrual de la muestra. Se observa una serie de disminuciones y aumentos dependiendo de cada nivel de dolor.

En el nivel cero se observa un aumento del 4.5%, en el nivel uno los resultados aumentan un 2.2%. El mayor incremento da lugar en el grado dos con un valor de 7.8%. En el nivel tres se ocasiona una bajada del 1.1%, seguido del grado cuatro donde se produce una subida del 2.2% y en el nivel siguiente el doble.

A partir de la categoría seis los resultados comienzan a disminuir. En dicho escalón se observa un decrecimiento con valor 4.5%, continuado por un descenso del 2.2% en el nivel siete. En la categoría ocho se percibe el mayor descenso con valor de 6.7% y en el nivel nueve una disminución del 5.6%. Por último en la categoría diez se produce una bajada del 1.1%.

En vista general los resultados son positivos ya que tras realizar los entrenamientos, optan por valores de malestar menores, reflejando una mejoría notoria. Esto se presupone que se debe a que dichas participantes que a principios del experimento sufrían dolores intensos, tras realizar los ejercicios durante el periodo de tiempo estimado, en las gráficas se refleja que muchas de ellas ahora optan por niveles de dolor menores.



Gráfica 39. (Elaboración propia).

En la gráfica consecutiva, donde se pregunta acerca de la incapacidad a la hora de realizar actividades durante el periodo menstrual, se produce una disminución del 8.9% en la respuesta afirmativa. Por otro lado se ocasiona una subida del 12.2% en la respuesta negativa y por último en la opción de a veces se produce un descenso del 3.3%.

Se presupone que gracias a los ejercicios, algunas encuestadas que en un inicio determinaron una cierta incapacidad para realizar actividades, tras ejecutar los entrenamientos, ahora son capaces de llevar a cabo experiencias o tareas cotidianas que antes no podían. De esta manera aumenta la cantidad de personas que aseguran que la menstruación no las incapacita para nada.

Se concluye que los ejercicios ayudaron a las jóvenes a ser capaces de realizar diferentes actividades durante el ciclo en comparación con el inicio.

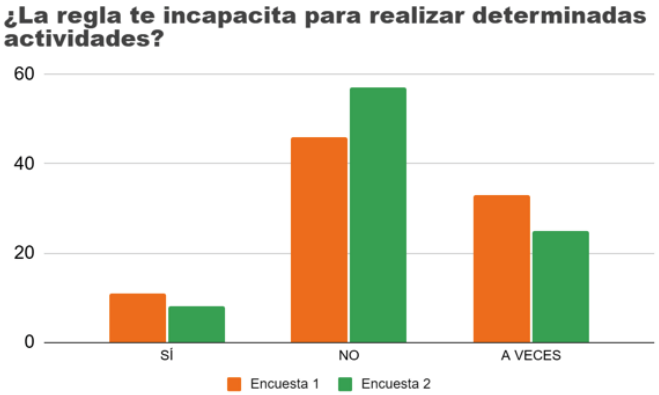
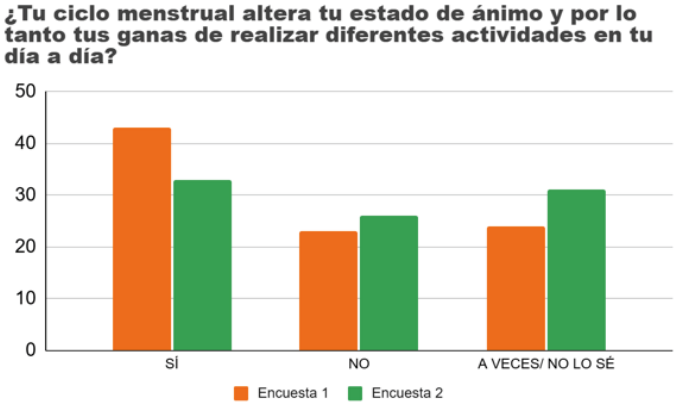


Gráfico 40. (Elaboración propia).

En la ilustración siguiente, en la cual se pregunta sobre la alteración del estado de ánimo y su influencia en la práctica de actividades durante el periodo, se puede determinar un descenso del 11.1% referente a la respuesta afirmativa. Por el contrario se observa un aumento en la contestación negativa del 3.3% y de valor 7.7% en la opción de a veces o no lo sé.

Se observa que al comienzo del experimento la cantidad de mujeres que determinan notar alteraciones de su actitud es mayor que las otras dos opciones. Por el contrario, tras realizar los entrenamientos, las respuestas están mucho más equilibradas destacando principalmente el notorio descenso de ciertas participantes que ya no aseguran experimentar variaciones de su estado de ánimo. Se presupone por tanto que esta mejora se ve causada por la realización de los ejercicios.

De este modo queda concluido que los entrenamientos mejoran las alteraciones del estado de ánimo.



Gráfica 41. (Elaboración propia).

En el diagrama subsecuente se pregunta en relación al uso de analgésicos durante el ciclo menstrual. Principalmente destaca el aumento del 8.9% de aquellas mujeres que dejan de tomar medicación.

Por otro lado, el resto de opciones disminuye excepto el paracetamol que se presenta sin variaciones y una persona que antes no tomaba otros antiinflamatorios y ahora si.

Por lo tanto se presupone que gracias a los entrenamientos muchas chicas que antes durante el periodo menstrual tomaban analgésicos, ahora utilizan el ejercicio físico para aliviar su dolor y por ello en la gráfica las jóvenes ahora aseguran no tomar nada y a eso se debe la disminución del resto de medicamentos.

Se concluye, que gracias a los ejercicios, las participantes comienzan a tomar menos medicamentos y recurrir al deporte como analgésico natural.

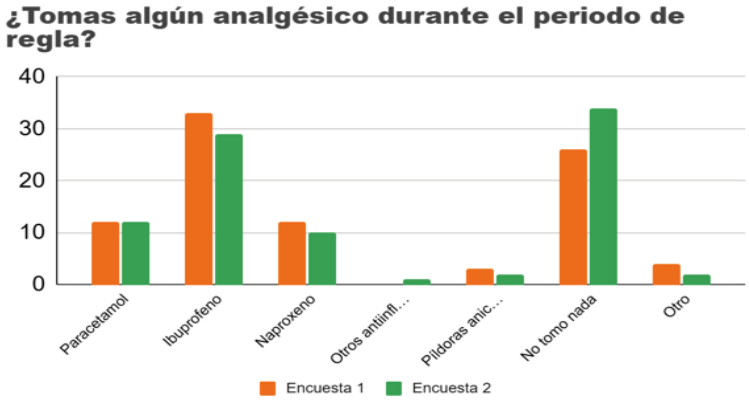
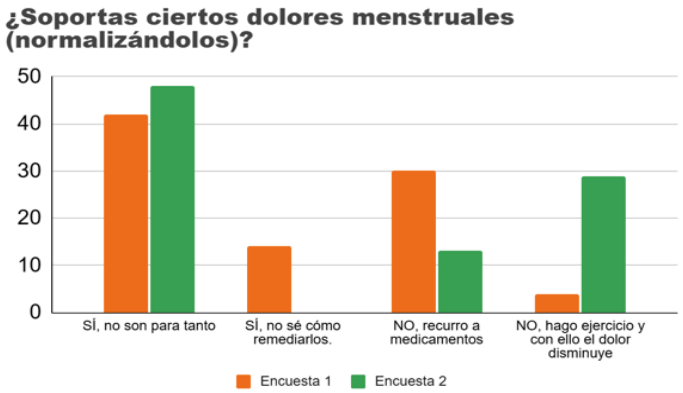


Gráfico 42. (Elaboración propia).

En este gráfico, en el que se cuestiona acerca de la normalización de los malestares menstruales, se han distribuido las respuestas de ambas encuestas en cuatro opciones comunes que siguen significando lo mismo. Se ha hecho para poder cuadrar los dos cuestionarios ya que era la misma pregunta pero no tenían las mismas opciones de respuesta, fallo al diseñar la encuesta y no fijarme.

La opción que determina que los dolores menstruales no eran notorios y por lo tanto si los soportaban, tras los ejercicios, aumentó un 6.7%. Todas aquellas que en la primera encuesta explicaron que no sabían cómo remediar su dolor en la segunda aparecieron con un valor de 0%. El porcentaje de jóvenes que usaba medicamentos para aliviar el malestar disminuye un 18.9% y por último, en la segunda encuesta se destaca que las mujeres que ahora realizan ejercicio físico para mejorar sus calambres han aumentado un 27.8%.



Gráfica 43. (Elaboración propia).

Todos los datos adquiridos de estas gráficas comparativas se obtuvieron mediante cálculos a mano en un cuaderno, basados en los resultados de las encuestas. Las gráficas se realizaron en hojas de cálculo individuales en las que se escribieron los datos de cada pregunta comparada y seguidamente se diseñó la gráfica.

Del resto de preguntas, que no eran comunes en ambas encuestas, pudimos obtener la siguiente información:

- A 49 mujeres, más de la mitad de la muestra, después de realizar los entrenamientos también le variaron otros aspectos en relación con su ciclo menstrual (duración y abundancia) con lo que podemos presuponer que los ejercicios no sólo alteran o varían el dolor y por lo tanto esto abre paso a nuevas investigaciones.

- En concreto y en relación con la información previa, en un comienzo, 38 mujeres determinaron que sus periodos eran irregulares mientras que tras realizar los entrenamientos, 25 encuestadas explican que estos, aparte del dolor también variaron su regularidad. De esta manera se puede concluir que el ejercicio físico puede ayudar a regular el ciclo menstrual.
- En general la alimentación de las jóvenes antes de los entrenamientos determinaba que más de la mitad de la muestra mantenía la misma dieta durante el periodo y tras las diez semanas esa cantidad disminuye a menos de la mitad.
- La mayoría de participantes que al principio realizaban deporte cuatro días a la semana o más, un total de dieciocho, no tenían un nivel de dolor menstrual mayor de cuatro.
- En un inicio todas las encuestadas que hacían ejercicio, menos diez, también practicaban su deporte durante el periodo.
- A más del 80% no le supone un impedimento el uso del tampón pero a la hora de realizar entrenamientos es necesario tener en cuenta la incomodidad de las participantes, en este caso para la práctica de la natación.
- Más del 75% de la muestra nunca ha acudido a un experto, pero las mujeres que sí, explican que sólo les han recomendado medicamentos o les han dicho que son normales. En ningún caso se propone el deporte como solución.
- Dos tercios de la muestra determinan que no creen que se sepa suficiente acerca de los dolores menstruales.

5.4. Análisis de las entrevistas

Como ya se ha dicho previamente en esta investigación, también se diseñó una entrevista de la cual se extrajeron una serie de deducciones mencionadas en el apartado de conclusiones y con mayor profundidad, analizadas en un código QR en la sección de anexos.

6. Conclusiones finales

Tras analizar los resultados detalladamente, se demuestra que los entrenamientos reflejan una mejoría en varios aspectos:

1. El empleo de analgésicos para tratar el dolor menstrual disminuye notoriamente, siendo un 37.8% aquellas que tras los ejercicios no hacen uso de medicamentos nunca, a cambio de un remedio natural y efectivo.
2. Tras la ejecución del plan de entrenamiento los niveles de dolor entre el cero y el cinco aumentan, mientras que los del seis al diez disminuyen lo que demuestra que el ejercicio físico ayuda al tratamiento del dolor menstrual.
3. La incapacidad de las encuestadas para realizar actividades durante el ciclo disminuye después de los entrenamientos, siendo un 63.3% las que no sufren impedimentos, por lo que concluimos que fue gracias a la práctica del deporte.
4. El plan de entrenamiento resultó ser efectivo, siendo un 83.3% de las mujeres las que quieren incluirlo en su rutina diaria.
5. Tras la práctica de los ejercicios se observa que estos, contribuyen a la estabilización del estado de ánimo.
6. A pesar de que el nivel de dolor de cada participante era distinto, se ve reflejado que los ejercicios ayudaron a todas las mujeres independientemente de la categoría de dolor en la que se encontraban.
7. Ninguna participante, una vez realizados los entrenamientos, continúa sin saber como disminuir su dolor menstrual, por lo que se deduce que el ejercicio sirvió como solución.

Por lo tanto se corrobora la hipótesis descrita que defiende que: “El ejercicio físico enfocado a las zonas afectadas por la inflamación durante la menstruación, disminuye el dolor menstrual tras la realización prolongada del mismo”.

7. Próximas líneas de investigación

- Realizar un experimento similar pero con unos entrenamientos que incluyan ejercicios, series o repeticiones distintas.
- Variar el tiempo de realización de los ejercicios.
- Trabajar con un rango distinto o más amplio de las edades de las mujeres.
- Investigar acerca de la variación del dolor con diferentes deportes.
- Hacer un estudio similar en el que se analice específicamente la variación de la alimentación, el sueño o el estrés.
- Observar cómo afecta el ejercicio físico durante el periodo de menopausia.

8. Márgenes de error

En la ejecución de este trabajo de investigación nos enfrentamos a una serie de obstáculos:

- Se tuvo que descartar a una cierta cantidad de mujeres de la investigación debido a que no contestaron a la segunda encuesta y por lo tanto no servía su colaboración de la primera.
- La investigación está basada en el dolor, que es una cuestión subjetiva y las respuestas de las participantes pueden no ser certeras por lo que se debe de tener en cuenta dicho margen de error.
- La primera parte de la investigación, que incluye el diseño y distribución de la primera encuesta y el diseño de los entrenamientos, se tuvo que hacer antes de que empezara el verano para que los ejercicios se pudieran realizar durante la mayor cantidad de tiempo posible.

9. Referencias bibliográficas

- Abad Zorzo, M. (noviembre 19 de 2007). *Métodos de entrenamiento de la RESISTENCIA* [Video]. YouTube. https://youtu.be/npfQSIt4hog.
- Armour, M.; Ee, C. C.; Naidoo, D.; Ayati, Z.; Chalmers, K. J.; Steel, K. A.; de Manincor, M. J. & Delshad, E. (2019). "Exercise for dysmenorrhoea". *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 9(9), CD004142. https://doi.org/10.1002/14651858.CD004142.pub4
- Azaña Gutiérrez, S. (2022, 15 de julio). "¿Qué es la foliculogénesis y cuáles son sus etapas?". *Reproducción Asistida ORG*. Recuperado de https://www.reproduccionasistida.org/foliculogenesis/ [Fecha de consulta: 04/05/2025]
- Bassett, D. R., Jr. & Howley, E. T. (2000). "Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance". *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(1), 70–84. https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012
- Barranquero Gómez, M.; Rogel Cayetano, S. & Salvador, Z. (2023, 19 de octubre). "El ciclo menstrual: ¿qué ocurre en cada una de sus fases?". *Reproducción Asistida ORG*. Recuperado de https://www.reproduccionasistida.org/fases-del-ciclo-menstrual/ [Fecha de consulta: 12/05/2025]
- Behm, D. G. & Chaouachi, A. (2011). "A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance". *European Journal of Applied Physiology*, 111(11), pp. 2633–2651. https://doi.org/10.1007/s00421-011-1879-2
- Biología-Geología.com. (s. f.). "Aparato reproductor femenino". *Biología-Geología.com*. Recuperado de https://biologia-geologia.com/anatomia/711_aparato_reproductor_femenino.html [Fecha de consulta: 08/05/2025]
- Brooks, G. A. & Mercier, J. (1994). "Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the 'crossover' concept". *Journal of Applied Physiology*, 76(6), pp. 2253–2261. https://doi.org/10.1152/jappl.1994.76.6.2253
- Cajo, M. (2023, 3 de mayo). "Dismenorrea Primaria: Dolor Menstrual". *Maria Cajo*. Recuperado de https://mariacajo.com/dismenorrea-primaria/ [Fecha de consulta: 12/05/2025]
- Coach, J. J. (2021, 20 de abril). "Umbral de Lactato, VO2max o Umbral Aeróbico ¿Cuál necesitas mejorar?". *J2Endurance*. Recuperado de https://www.j2endurance.com/post/umbral-de-lactato-vo2max-o-umbral-aer%C3%B3bico-cu%C3%A1l-necesitas-mejorar [Fecha de consulta: 08/05/2025]
- Cormie, P.; McGuigan, M. R. & Newton, R. U. (2011). "Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production". *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(2), pp. 125–146. https://doi.org/10.2165/11538500-000000000-00000
- De la Cruz Pérez, G. (2017, 9 de enero). "Estiramientos balísticos: ¿son buenos o malos?". *Fisiotersa*. Recuperado de https://www.fisiotersa.com/estiramientos-balisticos-buenos-malos/ [Fecha de consulta: 10/05/2025]
- Editorial Etecé. (2024, 25 de diciembre). "Flexibilidad". *Enciclopedia Concepto*. Recuperado de https://concepto.de/flexibilidad/ [Fecha de consulta: 03/05/2025]
- Equipo de Enciclopedia Significados. (2024, 6 de junio). "Elasticidad". *Enciclopedia Significados*. Recuperado de https://www.significados.com/elasticidad/ [Fecha de consulta: 03/05/2025]
- Equipo de Medicover. (s. f.). "Dismenorrea: causas, síntomas, diagnóstico y tratamiento". *Medicover Hospitals*. Recuperado de https://www.medicoverhospitals.in/es/woman-and-child/diseases/dysmenorrhea [Fecha de consulta: 28/08/2025]
- Ernstmeyer & Christman (Eds.). (2025). "13.2: Conceptos básicos [Capítulo 'La movilidad es la capacidad de un paciente…']". En *Fundamentos de enfermería (OpenRN)*. Chippewa Valley Technical College via OpenRN. Recuperado de https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Salud/Enfermeria/Fundamentos_de_Enfermer%C3%ADa_(OpenRN)/13%3A_Movilidad/13.02%3A_Conceptos_b%C3%A1sicos [Fecha de consulta: 03/05/2025]
- Estudiante anónimo. (2021/2022). "Informe Sistema de Fosfágenos" [Documento en línea]. *Studocu*. Recuperado de https://www.studocu.com/bo/document/universidad-privada-del-valle/farmacologia/informe-sistema-de-fosfagenos/39216811 [Fecha de consulta: 10/05/2025]

- Fitness Revolucionario. (2022, 20 de diciembre). “Qué es el Entrenamiento de Fuerza y cómo Empezar” [Video]. *YouTube*. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=1u-8XOWyao4o&t=189s
- Fitness Revolucionario. (2023, 17 de mayo). “¿Estirar antes de entrenar? Flexibilidad vs. Movilidad” [Video]. *YouTube*. Recuperado de https://youtu.be/qE9GgHOaC40
- Freitas de Salles, B.; Simão, R.; Miranda, F. & Fleck, S. J. (2009). “Rest interval between sets in strength training”. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(9), pp. 765–777. https://doi.org/10.2165/11315230-000000000-00000
- González Oliva, S. (2020, 4 de septiembre). “Qué son los estiramientos estáticos”. *BekiaFit*. Recuperado de https://www.bekiafit.com/articulos/que-son-estiramientos-estaticos/ [Fecha de consulta: 02/05/2025]
- Grupo Pineda. (2025, 15 de enero). “La fuerza explosiva: ¿qué es, cómo se desarrolla y por qué es clave en el deporte?”. *Grupo Pineda*. Recuperado de https://grupopineda.eu/blog/que-es-fuerza-explosiva-ejemplos-deportes/ [Fecha de consulta: 20/05/2025]
- Guía Fitness. (2009, 29 de octubre). “La resistencia aeróbica: claves, beneficios y efectos de los ejercicios”. *Guía Fitness*. Recuperado de https://guiafitness.com/la-resistencia-aerobica.html [Fecha de consulta: 16/05/2025]
- Heredia Mazzaro, N. (2020, 9 de agosto). “La resistencia como capacidad física en el entrenamiento deportivo” [Video]. *YouTube*. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=6CM1e0AVlYU
- Hidalgo, R. (2023). “Ejercicios de estiramiento usando la técnica de facilitación neuromuscular propioceptiva”. *Fisioterapia Cuenca*. Recuperado de https://fisioterapia-cuenca.es/blog/ejercicios-de-estiramiento-usando-la-tecnica-de-facilitacion-neuromuscular-propioceptiva/ [Fecha de consulta: 02/05/2025]
- Instituto Nacional del Cáncer (NCI). (s. f.). Prostaglandina. En *Diccionario de cáncer*. Recuperado de https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/prostaglandina [Fecha de consulta: 28/08/2025]
- Kannan, P.; Chapple, C. M.; Miller, D.; Claydon, L. S. y Baxter, G. D. (2015). Menstrual pain and quality of life in women with primary dysmenorrhea: Rationale, design, and interventions of a randomized controlled trial of effects of a treadmill-based exercise intervention. *Contemporary Clinical Trials*, 42, 81–89. https://doi.org/10.1016/j.cct.2015.03.010
- Kenhub. (s. f.). Músculos del suelo pélvico [Imagen]. *Kenhub*. Recuperado de https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/musculos-del-suelo-pelvico
- Lemos, M. (2023, diciembre). “Lactato: qué es, valores normales y cuándo puede estar alto”. En *Tua Saúde*. Recuperado de https://www.tuasaude.com/es/lactato/ [Fecha de consulta: 21/05/2025]
- Madroñero Miguel, B. (2020, octubre). “El papel del ejercicio en el dolor menstrual”. *NeuroRehabNews*. https://doi.org/10.37382/nrn.Octubre.2020.539
- Mason, R.; Clement, D. P. (2023, 11 de enero). “El papel del ciclo menstrual en el entrenamiento físico y de fuerza”. *Clue*. Recuperado de https://helloclue.com/es/articulos/dieta-y-ejercicio/el-ejercicio-y-tu-ciclo-menstrual [Fecha de consulta: 13/05/2025]
- MedlinePlus. (2023, 8 de julio). “Ejercicio aeróbico”. *Biblioteca Nacional de Medicina de EE. UU.*. Recuperado de https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/19383.htm [Fecha de consulta: 14/05/2025]
- Mens Health España. (s. f.). “Escala del dolor” [Imagen]. *Mens Health España*. Recuperado de https://www.menshealth.com/es/salud-bienestar/a33363592/escala-dolor/
- Musculación Total. (2017, 6 de enero). “¿Qué es el estiramiento balístico?”. *Musculación Total*. Recuperado de https://www.musculaciontotal.com/stretching/que-es-el-estiramiento-balistico/ [Fecha de consulta: 20/08/2025]
- Musculación Total. (2019, 21 de julio). “La Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)”. *Musculación Total*. Recuperado de https://www.musculaciontotal.com/stretching/facilitacion-neuromuscular-propioceptiva/ [Fecha de consulta: 20/08/2025]
- Musculación Total. (s. f.). “¿Cuáles son las principales técnicas de estiramiento?”. *Musculación Total*. Recuperado de https://www.musculaciontotal.com/stretching/tecnicas-de-estiramiento/ [Fecha de consulta: 20/08/2025]
- Nickum, D. (s. f.). “Master maximal strength training techniques”. *On the Go Fitness Pro*. Recuperado de URL inaccesible [Fecha de consulta: 22/05/2025]
- Pacheco, I. (2024). “Tiempo de recuperación ideal para aumentar la musculatura” [Imagen]. *FitMind Academy*. Recuperado de https://fitmind-academy.com/tiempo-de-recuperacion-ideal-para-aumentar-musculatura/
- Polar. (2022, 14 de septiembre). “Entrenamiento de baja intensidad | Zonas de FC 1–3”. *Polar*. Recuperado de https://www.polar.com/blog/es/entrenamiento-de-baja-intensidad-zonas-de-fc-1-3/ [Fecha de consulta: 24/05/2025]
- Portal Educativo. (s. f.). “El ciclo menstrual” [Imagen]. *PortalEducativo.net*. Recuperado de https://www.portaleducativo.net/septimo-basico/783/El-ciclo-menstrual
- Power Training. (2022, 22 de noviembre). “Endurance is not what you think it is... (Sports)” [Video]. *YouTube*. Recuperado de https://youtu.be/rztfErYKEIc

- Ratamess, N. A. (2012). *Strength training for health and performance* (1.ª ed.). Human Kinetics.
- Rodríguez, D. (2019). "Resistencia anaeróbica: características, beneficios y ejemplos". *Lifeder*. Recuperado de https://www.lifeder.com/resistencia-anaerobica/ [Fecha de consulta: 29/08/2025]
- Roldán, M. J. (s. f.). "Dismenorrea primaria y secundaria, diferencias y características". *Madres Hoy*. Recuperado de https://madreshoy.com/dismenorrea-primaria-y-secundaria-diferencias-y-caracteristicas/ [Fecha de consulta: 28/08/2025]
- Significados.com – Enciclopedia Significados. (2024, 27 de febrero). "Resistencia" [entrada de enciclopedia en línea]. *Significados.com*. Recuperado de https://www.significados.com/resistencia/ [Fecha de consulta: 14/05/2025]
- Sport.es. (2016, 3 de marzo). "Tipos de estiramientos estáticos". *Sport.es*. Recuperado de https://www.sport.es/es/noticias/deportes/tipos-estiramientos-estaticos-4351630 [Fecha de consulta: 20/08/2025]
- Tennfjord, M. K.; Gabrielsen, R.; Bø, K.; Engh, M. E. & Molin, M. (2024, 12 de septiembre). "Can general exercise training and pelvic floor muscle training be used as an empowering tool among women with endometriosis? Experiences among women with endometriosis participating in the intervention group of a randomized controlled trial". *BMC Women's Health*, 24(1), 505. https://doi.org/10.1186/s12905-024-03356-w
- The PE Tutor. (2018, 28 de septiembre). "The Fartlek Training Method (BTEC Sport & GCSE PE)" [Video]. *YouTube*. Recuperado de https://youtu.be/H5QOVSsKH9Y
- Top Doctors. (2024, 26 de noviembre). "Estrategias para reducir el dolor de la dismenorrea: ejercicios, yoga y técnicas de relajación". *Top Doctors*. Recuperado de https://www.topdoctors.es/articulos-medicos/estrategias-para-reducir-el-dolor-de-la-dismenorrea-ejercicios-yoga-y-tecnicas-de-relajacion/ [Fecha de consulta: 21/05/2025]
- Tsai, I. C.; Hsu, C. W.; Chang, C. H.; Lei, W. T.; Tseng, P. T. & Chang, K. V. (2024, 30 de mayo). "Comparative effectiveness of different exercises for reducing pain intensity in primary dysmenorrhea: A systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials". *Sports Medicine - Open,* 10(1), 63. https://doi.org/10.1186/s40798-024-00718-4
- TYRR Sport Academy. (2020, 2 de julio). "Métodos de entrenamiento de la resistencia | TYRR SPORT ACADEMY" [Video]. *YouTube*. Recuperado de https://youtu.be/XBr8O3mkHp0
- United Vein & Vascular Centers. (2025, 19 de febrero). "Mejores ejercicios para la circulación y la salud venosa". *United Vein & Vascular Centers*. Recuperado de https://unitedveincenters.com/es/blog/best-exercises-for-circulation-vein-health/ [Fecha de consulta: 22/05/2025]
- Vargas, D. (mayo 2024, aproximada). "Oxidación de las grasas y ácidos grasos: Fisiología y ejercicios". *Regenera Health*. Recuperado de https://regenerahealth.com/blog/oxidacion-de-grasas-y-acidos-grasos/ [Fecha de consulta: 29/08/2025]
- Vaziri, F.; Hoseini, A.; Kamali, F.; Abdali, K.; Hadianfard, M. & Sayadi, M. (2015). "Comparing the effects of aerobic and stretching exercises on the intensity of primary dysmenorrhea in the students of universities of Bushehr". *Journal of Family & Reproductive Health*, 9(1), 23–28. Recuperado de https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25904964/ [Fecha de consulta: 05/05/2025]
- Whitney, S. (2021, 23 de septiembre). "Ejercicios de estiramiento FNP | Facilitación Neuromuscular Propioceptiva". *Myprotein*. Recuperado de https://www.myprotein.es/thezone/entrenamiento/estiramiento-con-fnp/ [Fecha de consulta: 13/05/2025]
- Williams, M. A.; Haskell, W. L.; Ades, P. A.; Amsterdam, E. A.; Bittner, V.; Franklin, B. A.; Gulanick, M.; Laing, S. T. & Stewart, K. J. (2007). "Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism". *Circulation*, 116(5), 572–584. https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185214
- Zheng, Q.; Huang, G.; Cao, W. & Zhao, Y. (2024, 16 de noviembre). "Comparative effectiveness of exercise interventions for primary dysmenorrhea: A systematic review and network meta-analysis". *BMC Women's Health*, 24(1), 610. https://doi.org/10.1186/s12905-024-03453-w

Anexos

https://drive.google.com/drive/folders/1LPMt87y1Iggh-3BXQU8TjIbDmjBcbGjhz?usp=sharing

QUÍMICA DE ANDAR POR CASA

Carla López González
Tutor: Antonio Rosellón Dueñas

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi tutor del proyecto, Antonio, por sus consejos, su orientación y su apoyo constante a lo largo de este trabajo. También a mis amigos y familia, en especial a mis padres, por su respaldo incondicional y por ayudarme en la elaboración de este trabajo.

Y, por supuesto, a todos los participantes de la fase experimental que han ayudado a sacar todas las conclusiones para la investigación, ya que sin su colaboración este trabajo no habría sido posible.

ÍNDICE

1. RESUMEN……324
2. ABSTRACT……324
3. INTRODUCCIÓN……324
3.1. JUSTIFICACIÓN……324
3.2. HIPÓTESIS……325
3.3. OBJETIVOS……325
4. MARCO TEÓRICO……325
4.1. PEDAGOGÍA Y DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS……325
4.2. QUÍMICA……326
4.3. PRODUCTOS QUÍMICOS DEL HOGAR……331
5. METODOLOGÍA……334
5.1. INTRODUCCIÓN A LA EXPERIMENTACIÓN……334
5.2. PRIMERA ENCUESTA……335
5.3. CLASE PRÁCTICA……337
5.4. SEGUNDA ENCUESTA……337
6. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS……338
6.1. PRIMERA ENCUESTA……338
6.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA SEGUNDA ENCUESTA Y COMPARACIÓN CON LA PRIMERA ENCUESTA……344
7. CONCLUSIONES……347
8. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN……348
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS……348
10. ANEXOS……351

1. RESUMEN

La química está presente en casi todos los productos que nos rodean: en todos los de limpieza, medicinas, en muchos alimentos o en multitud de utensilios que utilizamos a diario. Además, puede afectar (positiva o negativamente) en la salud de todo lo que nos rodea (personas, animales, plantas… y hasta a nuestro planeta). La mayoría de la gente sabe muy poco (y a veces nada) sobre lo que tiene en casa y sobre para qué sirven exactamente los productos y, mucho menos, sobre los peligros que corren usándolos mal. Además, quería comprobar si gracias a los experimentos fáciles y explicaciones sencillas, personas que no saben de química pueden llegar a entender algunas reacciones químicas o cómo usar mejor los productos que utilizan a diario. Para demostrarlo, he lanzado dos encuestas y he preparado un video explicativo, que me han permitido sacar conclusiones sobre lo poco que, en general, sabemos de química, para concienciar sobre los riesgos de usar mal estos productos o de mezclarlos sin conocimiento, y a enseñar a entender los símbolos de las etiquetas.

Palabras clave: química; productos domésticos; desinformación; riesgos químicos; accidentes domésticos; encuestas.

2. ABSTRACT

Chemistry is present in almost all the products that surround us: in all cleaning products, medicines, many foods, and countless utensils we use daily. Furthermore, it can affect (positively or negatively) the health of everything around us (people, animals, plants… and even our planet). Most people know very little (and sometimes nothing) about what they have at home and what the products are actually for, and even less about the dangers of misusing them. I also wanted to see if, through easy experiments and simple explanations, people with no chemistry background could come to understand some chemical reactions or how to better use the products they use every day. To demonstrate this, I launched two surveys and prepared an explanatory video, which allowed me to draw conclusions about how little we generally know about chemistry, to raise awareness about the risks of misusing these products or mixing them without knowledge, and to teach people how to understand the symbols on labels.

Keywords: chemistry; household products; misinformation; chemical risks; household accidents; surveys.

3. INTRODUCCIÓN

3.1. Justificación

La idea de este proyecto me la dieron mi tutor del trabajo, Antonio, y mi profesora de física y química y tutora de primero de Bachillerato, Pinar. Desde el principio tenía claro que quería hacer el proyecto sobre algo relacionado con la química y me pareció muy interesante investigar sobre los productos de uso doméstico, ya que son sustancias que están presentes en nuestro día a día y que estamos muy acostumbrados a utilizar sin saber apenas sobre su composición, sus características ni sus efectos tanto en la piel como en lo que se utilizan.

Además, los accidentes en los hogares por el uso inadecuado de estos compuestos son más comunes de los que creemos. Nos pueden causar daños tanto internos como externos en el organismo, desde quemaduras hasta intoxicaciones. La mezcla de algunos de estos productos también puede ser perjudicial y se pueden crear reacciones químicas peligrosas que nos terminan afectando seriamente.

Con la llegada del COVID-19 y por tanto de la pandemia, el uso de desinfectantes y sustancias limpiadoras aumentó, lo que conllevó a la aparición de ciertos efectos colaterales como el incremento de los incidentes e intoxicaciones en los hogares por la mezcla de productos que provocan reacciones de riesgo o por ingestiones accidentales. Por ejemplo, en Estados Unidos el resultado de estas intoxicaciones (sobre todo por la ingesta de lejía y geles hidroalcohólicos) hizo que el número de consultas aumentara en un 20% y en el caso de las inhalaciones se duplicó la tasa, afectando en un 40% de los casos a niños menores de cinco años (SERNAC, s.f.)

Por lo tanto, me parece muy importante divulgar sobre las ciencias en general, específicamente de la química, debido a que es una disciplina a la cual no se le da toda la importancia ni la atención que merece. En segundo lugar considero que hay mucha desinformación sobre los peligros que pueden llegar a suponer el uso de los productos químicos que tratamos diariamente, por lo que es prioritario concienciar a todo el mundo (en especial a las generaciones más jóvenes) para evitar accidentes domésticos como los que se han mencionado anteriormente y así velar por la salud de la sociedad.

3.2. Hipótesis

La hipótesis principal del proyecto propone que la población (en general) está muy desinformada sobre los químicos de nuestra rutina diaria, a pesar de que se muestran diferencias según la edad, el género, los estudios y el ámbito de trabajo.

La segunda hipótesis de este trabajo consiste en demostrar que el uso de recursos visuales como experimentos ayudan al aprendizaje, provocando mayor interés en el alumno y haciendo la explicación teórica mucho más entretenida y dinámica. Además, los conceptos químicos se retienen con mayor facilidad al ser explicados a través de compuestos presentes en nuestro día a día.

3.3. Objetivos

Este proyecto cuenta con unos objetivos divididos en generales, y dentro de estos se encuentran algunos más específicos:

1. Probar la importancia que la química tiene en nuestro día a día y lo que ha contribuido a nuestro bienestar.
2. Demostrar que el conocimiento previo de los participantes sobre la química de los productos de hogar es escaso y que se debería de tener un conocimiento mínimo para usar de forma correcta estas sustancias.
   - Analizar las diferencias, si las hubiera, sobre el conocimiento químico antes y después de la lección entre los distintos grupos de edad, sexos, estudios y ámbitos de trabajo.
3. Concienciar sobre los peligros de los productos y las mezclas entre estos (tanto para las personas como para el medio ambiente).
   - Enseñar a los participantes a diferenciar los distintos pictogramas de peligro para que, al comprar los productos químicos que se usan en los hogares, conozcan características de los mismos y se utilicen de forma óptima para evitar posibles daños en el organismo y en el medio ambiente.
   - Promover cambios en el uso de los productos químicos para que se utilicen de manera favorable, evitando así los riesgos que implican.
4. Estudiar si el uso habitual de estas sustancias influye en la asimilación de conocimientos sobre las mismas.
   - Realizar una serie de experimentos sencillos con productos químicos de casa para así, con sustancias de nuestro día a día y por tanto más relacionadas con nuestra vida cotidiana, potenciar un aprendizaje más significativo.
5. Divulgar el aprendizaje más significativo de las ciencias (sobre todo de la química) y animar a los participantes más jóvenes a interesarse por ellas.
   - En el caso de los participantes más jóvenes, impulsarlos a que ayuden en los deberes de casa como limpiar, cocinar, fregar…; motivados por los saberes aprendidos.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Pedagogía y didáctica de las ciencias

Según Núñez Rojas y Tobón (2006), la pedagogía se basa en la acción o hecho de educar. Bedoya (1998, como se citó en Núñez Rojas y Tobón, 2006) defiende esta ciencia como "discurso teórico que se constituye en la medida en que problematiza y tematiza el objeto teórico denominado enseñanza" (p.22). Se trata de una disciplina abierta, válida desde múltiples referencias; un campo que se encuentra en constante desarrollo y que toma diversos enfoques y saberes (Mendoza, 2004), posibilitando la calidad de una educación orientada a la formación del carácter, personalidad, lo ético, lo político, lo económico… (Tamayo, 2002, como se citó en Núñez Rojas y Tobón, 2006). De esta manera el programa de estudios ideal debe tomar los principios generales de la pedagogía (ideas generales sobre cómo educar), llevándolos a la práctica, es decir, la práctica pedagógica que se lleva a cabo en las aulas debe de estar sustentada por una teoría educativa (Tamayo, 2002, como se citó en Núñez Rojas y Tobón, 2006), asegurando la coherencia entre lo que se aprende y lo que realmente se realiza.

Mallart (2001) define la didáctica como "ciencia de la educación que estudia e interviene en el proceso de enseñanza-aprendizaje con el fin de conseguir la información intelectual del educando" (p.7). A diferencia de la anterior disciplina, la didáctica de las ciencias es un campo concreto emergente basado en el análisis del aprendizaje (científico) y los principios anteriormente mencionados. Tamayo (2002, como se citó en Núñez Rojas y Tobón, 2006) propone acciones centrales para definir esta ciencia:

- Reconocer los estadios cognitivos de los estudiantes.
- Identificar sus conocimientos previos antes de enseñar.
- Asegurar que los nuevos contenidos se relacionen de manera sustantiva con lo que ya saben.
- Promover aprendizajes significativos antes que repetitivos.
- Favorecer la actividad constructiva del estudiante, orientada a comprender la ciencia que estudia.

Además, se estructuran núcleos centrales propios sobre los cuales gira la producción de conocimiento de este tipo de didáctica como la transposición didáctica, enseñanza significativa (de Ausubel), evaluación formadora, autorregulación del aprendizaje…; vinculados a metodologías definidas como el uso de mapas mentales, la heurística de Gowin, las redes semánticas, etc (Núñez Rojas y Tobón, 2006).

De esa manera se promueve el aprendizaje por indagación, a través del cual el estudio del mundo natural por actividades que desarrollan el conocimiento propone explicaciones basadas en la evidencia derivada de su trabajo (Committee on the Development of an Addendum to the National Science Education Standards on Scientific Inquiry et al., 2000, p.1); el trabajo experimental, como estrategia de enseñanza (Canizales, Salasar y López, 2004, como se citó en Quiroz-Tuarez, S. y Zambrano Montes, L. C., 2021); los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales…; entre otros. Los docentes deben de considerar la incorporación de experimentos para atraer a los estudiantes y que estos exploren en el campo científico para nuevos aprendizajes (Canizales, Salasar y López, 2004, como se citó en Quiroz-Tuarez, S. y Zambrano Montes, L. C., 2021), desarrollando la creatividad de los estudiantes que potencien sus habilidades de razonamiento y resolución de problemas (cercanos a la realidad).

Desde la llegada de la LOGSE en 1990 hasta la actual LOMLOE (Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2020), la educación en España ha basado su enfoque un sistema esencialmente constructivista; sostiene que el aprendizaje es un proceso activo en el que los estudiantes construyen significados a partir de sus experiencias previas, además de promover un aprendizaje competencial, trabajo cooperativo, proyectos interdisciplinarios y una evaluación diversificada y continua. Este marco se apoya en las teorías como la de Ausubel (1976), Bruner (1973)..., introducidas por la Ley 14/1970, de 4 de agosto, General de Educación y Financiamiento de la Reforma Educativa (Gómez-Jiménez, O. y Rodríguez, J., 2025, p.2).

Marín (2003) afirma: "El constructivismo, como soporte teórico, está detrás de la mayoría de los trabajos que abordan problemas propios del ámbito de la Didáctica de las Ciencias" (p. 43). La alta repercusión contrasta para guiar los problemas de la enseñanza en el ámbito científico. A pesar de esto otros autores sostienen que el constructivismo y la didáctica de las ciencias no deben entenderse como equivalentes, debido a que esta última se entiende como una disciplina aislada, con objetivos y problemáticas propias. Por esta razón, ambas ciencias se complementan: la epistemología constructivista proporciona un marco teórico sólido para comprender la naturaleza del conocimiento científico y del aprendizaje, mientras que la didáctica de las ciencias se encarga de traducir, adaptar y aplicar esas ideas en situaciones educativas concretas a través de una unas metodologías concretas.

4.2. Química

La química es la ciencia que estudia la estructura, propiedades y transformaciones de los cuerpos a partir de su composición (Real Academia Española, s.f., definición 4).

Esta disciplina se encuentra en todos los ámbitos y se incluye en numerosos campos de conocimiento como la biología, la astronomía, la geología, la medicina… (Universitat Ramon Llull, s.f.). Además, según lo que Lehn afirma en El correo de la UNESCO [1] (2019), "la química desempeña un papel fundamental, tanto por el puesto que ocupa en las ciencias de la naturaleza y del conocimiento como por su importancia económica y su omnipresencia en nuestra vida diaria".

4.2.1. Evolución de la química en la historia

El interés del ser humano por comprender de qué está hecha la materia surgió hace millones de años, en la prehistoria. El acontecimiento considerado el primer proceso químico de la historia fue la generación del fuego, es decir, a lo que hoy en día nos referimos como combustión. A partir del momento en el que los homínidos aprendieron a producirlo

1 UNESCO: siglas para "Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura". Es un organismo especializado que busca promover la colaboración internacional en estos campos para fomentar la paz y la seguridad mundial.

y manejarlo, un nuevo mundo de transformaciones químicas y físicas estuvo a nuestro alcance, junto con una nueva forma de entendimiento de la naturaleza de las cosas.

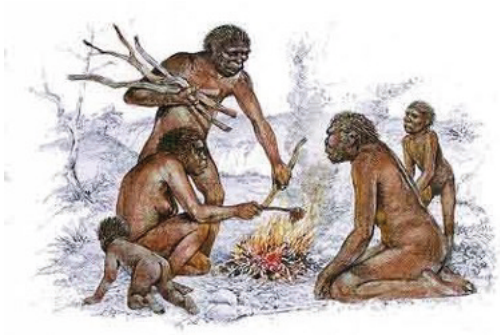


Figura 1 (aparición de fuego en el Paleolítico). Fuente: https://www.unprofesor.com/ciencias-sociales/aparicion-del-fuego-en-el-paleolitico-resumen-2253.html

Gracias al fuego bajó el índice de mortalidad y se mejoraron las condiciones de vida; permitió cocinar los alimentos matando así a bacterias y parásitos, protegió del frío y ahuyentó a los depredadores de los poblados. Además, resultó imprescindible para la aparición de actividades como la metalurgia o la cerámica, con las que se descubrieron elementos y materiales como el bronce, cobre, oro, minerales…

Fueron los filósofos griegos (siglo V a.C.) los primeros en preguntarse la naturaleza de las cosas. Al observar que de unas sustancias podrían surgir otras, propusieron que todo estaba compuesto de varios elementos básicos. Empédocles sugirió cuatro: tierra, agua, aire (que representan los tres estados de la materia) y fuego (como símbolo del cambio o energía) y Aristóteles añadió una quinta a su teoría, denominada éter, elemento puro, perfecto y eterno que conformaba las estrellas, los astros y el cielo.

Más tarde, Demócrito (principal precursor de la química en la Antigua Grecia), discípulo de Leucipo [2] , planteó que la materia no podía dividirse indefinidamente y debía estar formada por partículas indivisibles, formulando así una primera teoría atomista que se pospuso hasta dos mil años (se conservó gracias al poema De Rerum Natura escrito por Lucrecio, en el que se expone la teoría) para dar paso a la alquimia, nacida en Alejandría en el siglo III a.C.

Esta protodisciplina, antecesora de la química moderna, nació en Oriente debido a la fuerte represión del pensamiento científico impartido por el cristianismo y ya era practicada por los egipcios, que dominaban la *khemeia*, vinculada a los rituales religiosos y el embalsamamiento de los muertos. El conocimiento se reservaba a los magos y se ocultaba mediante símbolos que relacionaban los metales con los astros [3].



Figura 2 (búsqueda del elixir de la vida). Fuente: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160412_ciencia_isaac_newton_receta_inmortalidad_alquimia_piedra_filosofal_estudios_ocultos_lb

La tradición egipcia y la filosofía griega se combinaron con el objetivo de encontrar la piedra filosofal, capaz de transformar ciertos materiales en oro. En otras culturas como la china, se buscaba el elixir de la vida, que otorgara juventud eterna e inmortalidad.

En el siglo VII, los árabes comenzaron a expandirse, conquistando así territorios de Asia y África, entre ellos Egipto (641 d.C.). Heredaron gran parte del saber científico griego en Persia y su interés se intensificó tras ser derrotados en el 670 en Constantinopla, donde se usó el temido fuego griego [4]. El término egipcio pasó al árabe como *al-kímiya* y luego a Europa como alquimia, desarrollada hasta el 1600 d.C., un periodo de casi dos milenios.

Nunca se llegó a nada de lo que buscaban pero las investigaciones de alquimistas como Geber (760-825), Al Razi (850-925) o Avicena (979-1037) supusieron la mejora del instrumental de los laboratorios y el descubrimiento de nuevos elementos y compuestos (alcohol, ácido sulfúrico, arsénico…), procesos químicos y técnicas como la destilación.

Tras tres siglos de liderazgo científico, el imperio árabe decayó y su conocimiento químico se extendió al oeste de Europa, iniciado con las Cruzadas y la Reconquista espa-

2 Hacia el 450 a. C.; Leucipo parece que fue el primero en proponer que la materia no podía dividirse indefinidamente. Fue su discípulo Demócrito quién continuó con esta línea de pensamiento.

3 Asociaron los siete cuerpos celestes con los siete metales conocidos a cada día de la semana: Lunes (Luna, Ag), martes (Marte, Fe), miércoles (Mercurio, Hg), jueves (Júpiter, Sn), viernes (Venus, Cu), sábado (Saturno, Pb) y domingo (Sol, Au).

4 Fuego griego: arma incendiaria compuesta por una mezcla química inextinguible atribuida a Callinicus, practicante de la *khemeia*.

ñola, que permitieron a los europeos tener un contacto más cercano con la avanzada cultura y ciencia islámica.

El descubrimiento de valiosos textos científicos griegos y árabes, provocó un movimiento de traducción masiva de estas obras al latín. Las nuevas indagaciones asentaron las bases de una ciencia más empírica, comenzando a estar basada en la experimentación y la observación y alquimistas como Alberto Magno (1200-1280) y el falso Geber (español) descubrieron el arsénico y describieron por primera vez la producción del ácido nítrico y del ácido sulfúrico, abriendo paso a la posibilidad de realizar nuevas reacciones químicas que antes habrían sido imposibles.

El Renacimiento comenzó con un nuevo espíritu científico que marcó la transición de la alquimia a la química moderna. El cambio se reflejó especialmente en las obras de Bauer, quien consolidó la mineralogía como ciencia y la relacionó con la medicina y la química en su libro *De re metallica* (1556), y del suizo Hohenheim, conocido como Paracelso, que cambió el objetivo de la alquimia; defendió la producción de fármacos y medicamentos y consiguió aislar el cinc (Zn), basándose en las ideas tradicionales. Posteriormente, la obra *Alquimia* fue publicada en 1597 por Andreas Libavius, donde se criticó el misticismo y se defendió el uso práctico de la alquimia en la medicina. Aparte, aportó métodos para preparar varias sustancias químicas como el agua regia [5].

La utilidad práctica de todos estos conocimientos demostró ser más valiosa que la búsqueda de oro o elixires y poco a poco la alquimia fue perdiendo importancia.

A pesar de este gran acontecimiento, el desarrollo de esta química fue mucho más lento que el de otras disciplinas. De este modo, el médico Van Helmont inició un cambio al medir el crecimiento de un árbol y estudiar los vapores producidos en reacciones como la combustión al quemar madera, a los que llamó gases, descubriendo entre ellos el gas silvestre o dióxido de carbono (CO_2).

Los hallazgos incitaron a otros científicos como Torricelli [6] profundizar en el estudio de estas sustancias, sobre todo del aire, lo que llevó a que el periodo de transición acabara con las experimentaciones del inglés Robert Boyle, primer químico moderno y uno de los fundadores de esta ciencia. Él propuso el método experimental científico e hizo aportaciones como su conocida primera ley; estableció una relación inversa entre la presión y el volumen de un gas,incorporando por primera vez las mediciones cuantitativas en la química.



Figura 3 (retrato de Robert Boyle). Fuente: https://www.sciencehistory.org/education/scientific-biographies/robert-boyle/

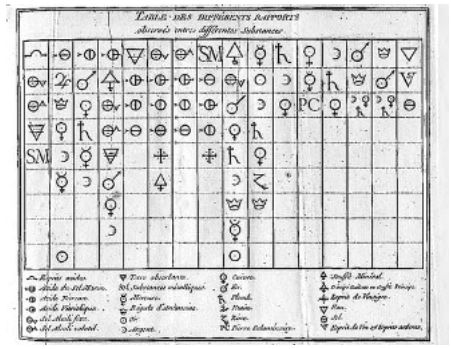


Figura 4 (tabla de las afinidades de Geoffroy). Fuente: https://www.uv.es/~bertomeu/material/clasico/geoffroy.htm

Posteriormente, la nueva disciplina empezó a desarrollarse en base a los elementos, las reacciones químicas y teorías que se retomaron del pasado como la teoría atomista. En 1718 Geoffroy propuso una de las primeras tablas que trataban de organizar los distintos elementos según su capacidad de combinación, denominada la tabla de las afinidades (precursora de la actual tabla periódica de los elementos).

Poco a poco los avances químicos permitieron refutar hipótesis como la teoría del flogisto [7]. Los experimentos de

5 Agua regia: mezcla altamente corrosiva de ácido nítrico y ácido clorhídrico concentrados, generalmente en una proporción de uno o tres, utilizada para disolver metales nobles como el oro y el platino.

6 Torricelli (1608-1647) demostró en 1643 que el aire ejercía presión a través de un tubo de un metro de largo lleno de mercurio que invirtió en una cubeta de mercurio. En este se observó que el elemento solo bajaba a unos 76 cm (760 mm). Concluyó que no era el vacío lo que sostenía el mercurio en el tubo, sino la presión ejercida por el aire de la atmósfera sobre la superficie del producto en la cubeta, equilibrando la presión del peso de la columna de mercurio dentro del tubo.

7 La teoría del flogisto de Georg Ernst Stahl (siglo XVIII) sostenía que las sustancias combustibles contenían un principio llamado flogisto que se liberaba al quemarse o oxidarse y buscaba explicar la combustión y la calcinación, aunque presentaba contradicciones.

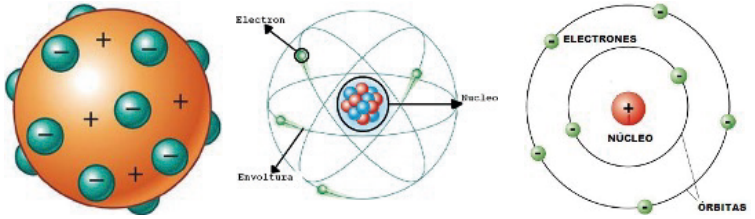
Lavoisier, demostraron que, en realidad, las sustancias se combinan con oxígeno. Este último publicó en 1789 la ley de conservación de la masa que demostró que, en una reacción química, la masa ni se crea ni se destruye. Esta ley impulsó a Dalton (a principios del siglo XIX) a interpretarla aplicándola a su propia teoría atómica, compuesta por cuatro ideas principales:

1. La materia está formada por átomos, que son partículas indivisibles.
2. Existen distintos tipos de átomos que corresponden a diferentes elementos químicos.
3. Se pueden unir átomos del mismo elemento químico, dando lugar a sustancias simples, o a átomos de distintos elementos, creando así compuestos.
4. En una reacción química los átomos se reordenan dando lugar a sustancias diferentes, por eso la masa no cambia, pues son los mismos átomos en distinto orden.



Figura 5 (modelo atómico de Dalton). Fuente: https://prezi.com/i/vggavxrnxtzz/modelo-atomico-de-dalton/

Estas investigaciones asentaron lo que serían las bases de los modelos atómicos del siglo XX, en los que participaron científicos muy reconocidos como Thompson (descubrió el electrón [8] y propuso una estructura compleja con carga negativa interna, demostrando que el átomo era divisible), Rutherford (llegó a la conclusión de que la carga positiva y casi toda la masa del átomo están concentradas en un núcleo) o Bohr (introdujo la teoría cuántica y defendió que los electrones solo pueden girar en órbitas específicas y fijas).



Figuras 6 (modelo atómico de Thomson), 7 (modelo atómico de Rutherford), y 8 (modelo atómico de Bohr). Fuente: https://comoser-comoheisenberg.wordpress.com/modelo-atomico-y-sus-aplicaciones/

Al modelo atómico actual se le conoce como modelo mecánico cuántico (formulado por Schrödinger en 1926) y se basa en la probabilidad. Propone que un átomo se compone de un núcleo de protones y neutrones, rodeado por una nube electrónica donde los electrones ubicados en orbitales [9].

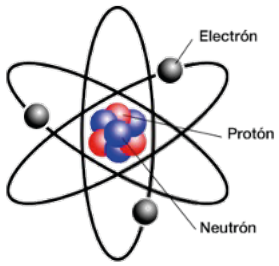


Figura 9 (modelo atómico actual). Fuente: https://portafolioiifisicamoderna2015.weebly.com/reflexioacuten-del-modelo-atoacutemico-estaacutendar.html

Entre tanto, se continuaron las investigaciones sobre los gases (leyes de los volúmenes combinatorios e hipótesis de Avogadro [10]), aparecieron nuevas ramas especializadas (química orgánica, inorgánica, analítica, física e industrial) y se produjeron distintos descubrimientos revolucionarios como la radiactividad. Marie Curie y Pierre (basados en los estudios de Röntgen y Becquerel), demostraron que la radiactividad se trataba de una propiedad del átomo y descubrieron que otros elementos radiactivos como el torio. Gracias a estas revelaciones se sentaron las bases de la radioterapia para tratar el cáncer y de la medicina nuclear con técnicas de imagen para diagnosticar enfermedades (uso de los rayos x).

Toda la información ha sido sacada y resumida de las siguientes fuentes: *Concepto.de*, *Breve historia de la química* (Asimov, 1975) y *La evolución histórica de la química y su utilidad didáctica* (Moreno Martínez, 2015).

8 Electrón: partícula subatómica de carga negativa (e^-).

9 Orbitales: regiones tridimensionales que indican la máxima probabilidad de encontrar un electrón, su energía y forma se definen a través de los cuatro números cuánticos (n, l, m, s).

10 Las primeras leyes fueron escritas por Gay-Lussac, quién descubrió que los gases reaccionan en proporciones simples de volumen. La hipótesis de Avogadro propone que volúmenes iguales de gases, en las mismas condiciones de temperatura y presión, contienen el mismo número de partículas. Esto ayudó a diferenciar entre átomos y moléculas y a determinar fórmulas químicas correctas.



Figura 10 (terapia fotodinámica para el tratamiento del cáncer). Fuente: https://www.bbc.com/mundo/noticias-59317869

Según el CESIF [11] (s.f.), las últimas investigaciones químicas han estado orientadas hacia la salud y se han desarrollado nuevos medicamentos como inhibidores de proteasa para el tratamiento del VIH [12] o hidrogeles para la regeneración de tejidos. En cuanto a la cura del cáncer se ha desarrollado la terapia fotodinámica, que utiliza luz para activar agentes fotosensibilizadores; y tecnologías que permiten modificar el ADN para corregir mutaciones causantes de enfermedades hereditarias (se investiga para mejorar la respuesta inmunitaria contra el cáncer).

4.2.2. La química en nuestra vida diaria

Cada mañana, Nadia se despierta sobre su colchón de látex, fabricado a partir de savia, material que proporciona mucha elasticidad gracias a su composición química, permitiendo que el colchón se adapte a nuestra forma de cuerpo, peso y calor corporal y que, a su vez, pueda volver posteriormente a su estructura original sin deformarse, lo que proporciona una gran comodidad y un descanso óptimo.

Tras desperezarse y salir de la cama, Nadia va hacia el baño para ducharse. El inicio del verano ya es evidente y hace calor por las noches por lo que sus glándulas sudoríparas actúan para secretar agua mezclada con otras sustancias químicas como sales o metales, que cuando se mezclan con bacterias en la piel causan el mal olor. Al abrir el grifo le empieza a caer sobre el pelo agua limpia y potable gracias a compuestos como el dióxido de cloro o el ozono, que eliminan microorganismos patógenos y sustancias nocivas que evitan la posibilidad de contraer enfermedades que matan a más de 5 millones de personas cada año. Durante la ducha utiliza distintos productos con moléculas tensioactivas, como el champú y el gel de baño, que son encargadas de adherirse a la suciedad y a la grasa para luego ser arrastradas por el agua.

Además, tras secarse, se aplica serums y cremas para hidratarse la piel gracias a los proteoglicanos, que absorben agua para mantener la hidratación cutánea.

Para terminar de arreglarse, Nadia se pone sus vaqueros favoritos que combina con una camiseta de tirantes y una sudadera fina por si hace frío al salir de casa tan pronto. Su ropa incorpora materiales como el algodón o el poliéster, mezclando fibras naturales con polímeros sintéticos que han revolucionado la industria textil. Sus zapatillas también son un ejemplo de innovación ya que combinan tecnologías como suelas de caucho flexible, espumas amortiguadoras y tejidos transpirables que dejan salir el sudor pero que repelen el agua.

Cuando baja a la cocina a desayunar se prepara su imprescindible café con leche, que contiene compuestos como la molécula de cafeína que estimula su sistema nervioso, y un yogur griego (que se obtiene gracias a bacterias que transforman la lactosa en ácido láctico) con cereales y frutos secos que le dan energía durante el día. Además, aprovecha para hacerse un sandwich. Todos los utensilios de cocina como sartenes antiadherentes, espátulas hechas de plásticos especiales resistentes al calor, envases y films que conservan los alimentos mediante barreras poliméricas que impiden la oxidación y la proliferación bacteriana…; han ido evolucionando gracias a la química que hay detrás de ellos y que hace que nuestra calidad de vida mejore.

Antes de salir de casa, Nadia nota que le empieza a doler la cabeza por lo que decide tomarse un paracetamol, un fármaco analgésico [13] imprescindible en nuestro día a día que sin la química no existiría.

---

11 CESIF: siglas para "Centro de Estudios Superiores de la Industria Farmacéutica". Se trata de una institución educativa especializada en la formación de profesionales para el sector farmacéutico, biotecnológico, alimentario, químico y cosmético.

12 VIH: siglas para "Virus de la Inmunodeficiencia Humana". Es una enfermedad que ataca y destruye las células CD4 (linfocitos CD4) del sistema inmunitario que combaten las infecciones.

13 Analgésico: medicamentos que alivian o reducen el dolor (de cabeza, muscular, articular, etc.) sin causar pérdida de conciencia, actuando sobre el sistema nervioso central o periférico para bloquear las señales de dolor.

Nadia se dirige al coche de su madre para que la lleve al instituto. A pesar de que ella nunca se da cuenta, los coches son vehículos que están repletos de esta ciencia. El combustible, los neumáticos de caucho, la tapicería interior y sistemas de seguridad como el airbag son pura química. Este último dispositivo ayuda a reducir hasta un 30% el riesgo de muerte en accidentes frontales y funciona gracias al nitrato sódico en su interior, que se descompone ante los impactos liberando así nitrógeno, gas que termina inflando la bolsa para protegernos.

Durante el camino, a Nadia le encanta fijarse en el bonito paisaje que le rodea, lleno de parques repletos de vida, altos edificios que impresionan desde el suelo y calles transitadas que sorprenden que estén así cuando todavía es tan temprano. Todos los colores que ve a su alrededor se logran a partir de tintes y pigmentos artificiales, diseñados para resistir casi cualquier condición meteorológica.

Su instituto es una construcción moderna que incorpora aislantes térmicos, que hacen los edificios sostenibles, evitando un 80% de emisiones contaminantes procedentes del consumo energético de las viviendas. Cuando llega a las ocho y media de la mañana, Nadia tiene clase de tecnología por lo que enciende el ordenador para trabajar en su tarea. Los monitores están recubiertos internamente por productos sensibles a la luz. También los teclados y el ratón están hechos con polímeros. Esta ciencia hace posible la existencia de chips, imprescindibles para el funcionamiento de los ordenadores, que actualmente están evolucionando para que en un futuro estén hechos de grafeno, un material con propiedades excepcionales que permitirá hacer cálculos más rápidos con dispositivos más pequeños que los chips basados en silicio.

Tras un largo día de clases, Nadia llega a su casa para comer, aunque no se dé cuenta, químicos. Todos los alimentos están formados por sustancias químicas y muchos de ellos dependen de reacciones controladas para existir, ya que no se encuentran en la naturaleza por sí mismas si no las sometemos a procesos químicos artificiales. Por ejemplo, en la carne a la plancha o en el chocolate hay colores, sabores y olores generados por reacciones de Maillard [14].

Por la tarde, esta ciencia vuelve a ser la protagonista en la vida de Nadia. En el entrenamiento de fútbol, ella y sus compañeras de equipo utilizan balones sintéticos de poliuretano que absorben menos agua y mantienen mejor su forma y presión que los antiguos de cuero, que también provocaban más lesiones. El césped artificial, las botas con suelas adherentes y las protecciones acolchadas también han evolucionado gracias a esta disciplina.

Durante su vuelta a casa, Nadia ve a un chico en el bus que le atrae mucho y por ello no para de mirarle de reojo. En su cabeza se llevan a cabo numerosas reacciones química y se liberan hormonas como la dopamina y la norepinefrina, que anulan el efecto de la serotonina [15], provocando euforia, nerviosismo y las clásicas "mariposas en el estómago" asociadas al enamoramiento.

Al acostarse de nuevo en su colchón y apagar la luz, Nadia no reflexiona sobre ello, pero la química ha estado presente en cada instante de su día. Lejos de ser lejana o peligrosa, la química bien aplicada hace su vida (y la de todos) más cómoda, segura, saludable y sostenible.

Este relato está basado y ha utilizado información de *La Química en nuestra vida cotidiana* (Alonso Giner, M., 2011), además de las siguientes páginas web: *Quimica.es* y *Unidadmedica.com*.

4.3. Productos químicos del hogar

Los productos químicos están definidos [...] como los elementos y compuestos químicos, y sus mezclas, ya sean naturales o sintéticos (Consejo Colombiano de Seguridad, 2020, No. 370 Marzo).

Por otra parte, el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SAG) (s.f.) define una sustancia química como:

> Un elemento químico y sus compuestos en estado natural u obtenidos mediante cualquier proceso de producción, incluidos los aditivos necesarios para conservar la estabilidad del producto y las impurezas que resulten del proceso utilizado, y excluidos los disolventes que puedan separarse sin afectar a la estabilidad de la sustancia ni modificar su composición.

14 Reacciones de Maillard:conjunto de reacciones químicas complejas entre azúcares reductores y aminoácidos (proteínas) que ocurren al aplicar calor a los alimentos, generando el dorado, aromas y sabores característicos (tostados, caramelizados, umami), creando nuevos compuestos como las melanoidinas y aldehídos que modifican el sabor, color y textura.

15 Serotonina: neurotransmisor clave que regula el estado de ánimo (bienestar, felicidad), sueño, apetito y funciones cognitivas.

4.3.1. Productos de limpieza

Según el Departamento de Salud Pública de California (CDPH) (2022), los productos de limpieza son agentes o soluciones químicas que se utilizan para eliminar la suciedad y las manchas de superficies interiores. Algunos de estos limpiadores comerciales contienen agentes antimicrobianos [16] que, además de limpiar, desinfectan las superficies.

Estos compuestos se caracterizan por su pH, también llamado potencial hidrógeno [17]. Los productos de limpieza, en general, se utilizan diluidos en el agua y dan su poder mojante [18] al agua gracias a los agentes tensioactivos [19] que contienen.

Su pH varía entre el 0 el 14, los productos cerca del número 7 se denominan neutros [20] (por ejemplo los detergentes), aquellos que se acercan al 0 son productos ácidos cuya función será desincrustar y cuando rondan al 14 los productos son denominados alcalinos o básicos y son encargados de desengrasar o decapar [21].



Figura 11 (escala de medida del pH). Fuente: https://concepto.de/ph/#:~:text=potencial%20de%20hidr%C3%B3genos.-,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20pH%3F,la%20concentraci%C3%B3n%20de%20iones%20hidr%C3%B3geno.



Figura 12 (tipos de agentes tensioactivos y sus características). Fuente: https://tricolistica.com/2021/11/tensioactivos-que-son-como-funcionan-y-como-identificarlos/

Los productos de limpieza también se caracterizan por su composición, que suele ser a base de tensioactivos (catiónicos, aniónicos, no iónicos, anfóteros [22]). Estos agentes dan al agua su poder limpiador.

Toda esta información ha sido sacada de *Prevor.com* (Laboratorio de Toxicología y Dominio del Riesgo Químico).

4.3.2. Productos de alimentación

La revista Bio Eco Actual se refiere a la química en el ámbito de los alimentos como el estudio de las sustancias que forman los productos alimenticios por su composición original, ingredientes añadidos, procesos de producción o preparación, comportamiento desde la fabricación hasta su consumo…(Arranz, N. y Arranz, L. I., 2019).



Figura 13 (rueda de los alimentos). Fuente: https://www.carmenfigueroa.es/la-rueda-de-los-alimentos/

Los compuestos químicos se encuentran de forma natural en todos los alimentos y en su mayoría son nutrientes (hidratos de carbono, vitaminas, glúcidos, proteínas…), necesarios para nuestra salud y un correcto funcionamiento del organismo. Los beneficios pueden estar originariamente en el alimento o pueden haberse modificado (añadiendo, reduciendo o eliminando) para mejoras nutricionales. Además, la industria alimentaria hace uso de otros químicos como los aditivos, conservadores que mejoran la producción, la seguridad, su aspecto…De este modo, "los aditivos alimentarios son sustancias químicas que pueden ser tanto de origen natural como artificial y que cuando son añadidas intencionalmente a los alimentos es con el objetivo de realizar alguna función tecnológica." (Arranz, N. y Arranz, L. I., 2019).

16 Antimicrobiano: sustancia que, a bajas concentraciones, actúa contra los microorganismos, destruyéndolos o inhibiendo su crecimiento.
17 Potencial hidrógeno (pH): medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad de una disolución.
18 Poder mojante: capacidad de una sustancia para disminuir la tensión superficial del agua, permitiendo que se extienda más fácilmente sobre una superficie y la moje de manera más efectiva.
19 Agente tensioactivo: sustancia que reduce la tensión superficial de un líquido, permitiendo que diferentes fases se mezclen mejor.
20 Neutro: carente de rasgos distintivos o expresivos.
21 Decapar: quitar por métodos fisicoquímicos la capa de óxido, pintura, etcétera, que cubre un objeto.
22 Anfótero: sustancia que puede reaccionar ya sea como un ácido o como una base.

4.3.3. Medicamentos

La química es la base principal del desarrollo de los medicamentos, ya que permite diseñar, sintetizar y optimizar muchos de los principios activos más eficaces y seguros para el tratamiento de enfermedades, tanto en los seres humanos como en los animales (CG Químicos, s.f.). Gracias a la innovación química que se ha desarrollado en la industria farmacéutica, los medicamentos han permitido el aumento de la esperanza de vida de las personas y han mejorado la calidad de vida de la población en general (CG Químicos, s.f.).

La química de los medicamentos es la que investiga la relación directa entre la estructura molecular y su efecto biológico, lo que permite mejorar la eficacia curativa y reducir efectos secundarios (PCC Group, s.f.). Además, impulsa el desarrollo de nuevos tratamientos frente a nuevas patologías mediante procesos cada vez más precisos y controlados (PCC Group, s.f.). Sin la química, no sería posible que el conocimiento científico tuviera como resultado en medicamentos fiables y accesibles para la sociedad (CG Químicos, s.f.).

4.3.4. Efectos de los productos químicos en el medio ambiente

Como se ha demostrado a lo largo del marco teórico (sobre todo en el apartado 8.2. *La química en nuestra vida diaria*), la química es una disciplina que está muy presente en nuestro día a día, a pesar de que muchas veces no se tenga en cuenta. Gracias a los avances en la ciencia, actualmente hay establecidas una gran variedad de medidas que aseguran el bienestar social; sin embargo, siguen existiendo químicos que se consideran no sólo peligrosos, sino también contaminantes y dañinos para la salud y el medio ambiente.

Además, la posible desinformación también puede llevar a una exposición de riesgo a través de una mala gestión, derivando en intoxicaciones y lesiones que reducen la esperanza de vida y afectan a la calidad de vida humana (Damania, R., Sanchez-Triana, E., y Heister, J., 2023).

Uno de los agentes contaminantes más presentes son los microplásticos, definidos por el Parlamento Europeo como "piezas diminutas de material plástico cuyo tamaño suele ser inferior a 5 milímetros" (2018). Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, se estima que, aproximadamente, 42.000 toneladas de microplásticos intencionadamente añadidos terminan desprendiéndose al medio ambiente cada año. Por otra parte la ONU declaró en 2017 que hay hasta 51.000 millones de partículas microplásticas en el mar (s.a., 2018). Estas se acumulan en los animales, por ejemplo peces y mariscos, destinados posteriormente al consumo; terminan transmitiendo las partículas contaminantes a los seres humanos.

Otras sustancias de especial preocupación son los llamados Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) y son peligrosos para los ecosistemas por tres razones: no son biodegradables, lo que hace que permanezcan largos periodos de tiempo en el medio ambiente; se bioacumulan en el tejido adiposo de los seres vivos, por lo que son difíciles de metabolizar [23] y resultan altamente tóxicos. Además pueden ser semivolátiles [24], lo que permite una fácil propagación a través del aire, agua o especies migratorias. Entre los COP se incluyen sustancias como ciertos pesticidas antiguos, compuestos industriales, retardantes de llama, entre otros; o contaminantes generados de forma no intencional como PCB [25], dioxinas [26] y furanos [27].

Ante la peligrosidad de ciertas sustancias la Unión Europea cuenta con el reglamento REACH (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias químicas y sus mezclas); trata de garantizar un uso seguro de las sustancias químicas y sustituir aquellas más peligrosas. También se han creado convenios como el de Estocolmo, de ámbito mundial, y reglamentos como el Reglamento (UE) 2019/1021 sobre COP, de ámbito europeo, que tienen el objetivo de proteger la salud humana y el medio ambiente contra los COP.

Toda esta información ha sido sacada y resumida de *Los químicos que nos rodean* (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).

Por último, la contaminación de los productos químicos afecta a la salud general de nuestro planeta, la Tierra. Un claro ejemplo es el fenómeno de la destrucción de la capa de ozono, que se vincula directamente a la emisión de dichos contaminantes. La NASA define la capa de ozono

23 Metabolizar: actuación del metabolismo sobre alguna sustancia, descomponiéndola o transformándola para que la aproveche el organismo.

24 Semivolátil: moderadamente volátil. Sustancia química orgánica que no se evaporan tan fácilmente como los volátiles, pero sí más que los no volátiles.

25 PCB: bifenilos policlorados, compuestos sintéticos, tóxicos y persistentes, utilizados en el pasado como aislantes en equipos eléctricos. Dada la toxicidad, su uso y producción están prohibidos en la mayoría de los países.

26 Dioxina: compuestos químicos tóxicos y persistentes que se forman en procesos de combustión que implican al cloro, como la incineración.

27 Furanos: compuestos químicos que pueden formarse de forma natural en los alimentos durante su procesamiento térmico (como asar, freír o hornear), o como subproductos tóxicos de combustiones inadecuadas, como la incineración de residuos.

como una capa que se encuentra en lo alto de la atmósfera y protege de los rayos ultravioleta (UV) que provienen del Sol (2024). La actividad humana ha abierto un agujero en el Polo Sur por el uso de gases como los clorofluorocarbonos (CFC) en latas de aerosol y refrigerantes, que descomponen las moléculas de ozono en la atmósfera superior. Gracias al reconocimiento del peligro de muchos gobiernos, a partir de la década de 1980 se firmaron acuerdos internacionales con el fin de reducir la aplicación de CFC (sustituidos por HFC [28]) y de reparar la capa (NASA, 2024).

5. METODOLOGÍA

5.1. Introducción a la experimentación

Para llevar a cabo la metodología de este proyecto se elaboró una lista de productos químicos que cualquier persona podría encontrar en su casa y, posteriormente se realizó una búsqueda intensiva de información sobre algunos de ellos, intentando tener variedad de productos de limpieza, alimentación, pesticidas para el jardín...

LISTA DE PRODUCTOS DE CASA:

PRODUCTOS DE LIMPIEZA:
- ★ Amoniaco
- ★ Lejía
- ★ Percarbonato de sodio
- ★ Vinagre de limpieza

ALIMENTACIÓN:
- ★ Vinagre
- ★ Bicarbonato sódico
- ★ Levadura
- ★ Limón
- ★ Sal
- ★ Lombarda

MEDICAMENTOS:
- ★ Alcohol
- ★ Agua oxigenada
- ★ Cristalmina (clorhexidina digluconato)
- ★ Betadine/yodo

BELLEZA, COSMÉTICA E HIGIENE PERSONAL:
- ★ Acetona
- ★ Sosa cáustica
- ★ Sérums (ácido hialurónico, vitamina c, retinoides...)
- ★ Pasta de dientes/agua en general flourada
- ★ Enjuague bucal

JARDINERÍA:
- ★ Fertilizantes: nitrogenados (urea, sulfato de amonio (NH4)2SO4, nitrato de amonio NH4NO3...)
- ★ plaguicidas/insecticidas/herbicidas
- ★ pilas

Figura 14 (lista de productos de limpieza y alimentación) y x(lista de medicamentos y productos cosméticos, de higiene y de jardinería). Elaboración propia.

Como se aprecia en las imágenes anteriores, la lista se dividió en categorías asociadas a los usos o ámbitos de los distintos compuestos. En este caso, las sustancias que están subrayadas de amarillo fosforito son aquellas de las que luego se buscó información.

Con estos datos se formularon fichas técnicas de cada uno de los productos seleccionados que incluyen su composición y fórmula química, su procedencia, una pequeña definición, sus propiedades físicas y químicas, los usos que se le dan y sus beneficios, una tabla de primeros auxilios en caso de un contacto peligroso con la sustancia [29] e información relacionada con su etiquetado y pictogramas de peligro, la toxicología y con qué sí y con qué no se puede mezclar cada producto. Como ejemplo se propone la ficha técnica de la lejía (las demás fichas se pueden consultar en el ANEXO 1):

La lejía o hipoclorito de sodio es una sustancia química inorgánica, de enlace iónico, compuesta por un átomo de cloro (Cl), un átomo de sodio (Na) y un átomo de oxígeno (O). Su fórmula química es NaClO.

Es un sólido oxidante (fuente de oxígeno), cristalino y blanco muy inestable, por lo que es muy utilizado en disoluciones acuosas. Procede de procesos químicos industriales en los que se hace reaccionar cloro gaseoso con hidróxido de sodio. También se puede obtener mediante electrólisis [30] de una solución salina, en la que el cloro generado se combina con la sosa cáustica para formar NaClO en solución.



Figura 15 (lejía de limpieza apta para la desinfección de agua El Corte Inglés). Fuente:https://www.hipercor.es/supermercado/0110128014300280-el-corte-ingles-lejia-amarilla-botella-2-l/

Las propiedades físicas y químicas del hipoclorito sódico son las siguientes:

Masa molecular: 74.4 g/mol
Punto de fusión: 18ºC
Punto de ebullición: 101ºC
Inflamabilidad: no combustible
Densidad (20ºC): 1.1 g/cm³
Solubilidad en agua: miscible
pH: 11-13 (básico)

La lejía se utiliza como desinfectante y detergente en el hogar, disolvente de materia orgánica, para potabilizar y tratar aguas y en el blanqueamiento de telas. En medicina se usa para esterilizar materiales quirúrgicos y en dermatología para tratar pieles susceptibles a infecciones.

A pesar de sus beneficios, es una sustancia química tóxica en altas concentraciones, por lo que es importante saber bajo qué condiciones manejarlo, los riesgo que supone tra

28 HFC: siglas para "hidrofluorocarbonos".

29 La tabla informativa incluye un apartado de síntomas tras inhalación, caso de contacto con la piel y con los ojos e ingestión. A partir de esto te indica qué hacer en cada situación y cómo se pueden evitar daños los daños que el compuesto puede causar.

30 Electrólisis: proceso de descomponer una sustancia en sus elementos o componentes básicos mediante una corriente eléctrica.

bajar con ella y qué hacer en caso de una exposición que pueda causar daños (proporcionar asistencia médica en cualquier situación):

	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
Inhalación	Tos y/o dolor de garganta.	Ventilación.	Moverse a una zona de aire limpio y reposar.
Piel	Enrojecimiento y/o dolor.	Guantes de protección.	Aclarar con agua durante mínimo 15 minutos. Deshacerse de la ropa contaminada y seguir aclarando.
Ojos	Enrojecimiento y/o dolor.	Gafas de protección.	Aclarar con agua durante varios minutos y retirar lentes de contacto en caso de llevarlas (si es posible).
Ingestión	Sensación de quemazón, tos, dolor de garganta y abdominal, vómitos y/o diarrea.	No beber, comer ni fumar durante la manipulación del compuesto.	¡No provocar vómito! Enjuagar la boca y dar de beber un par de vasos de agua durante los primeros minutos de la ingestión.

Tabla 1 (síntomas, prevención y primeros auxilios en caso de contacto con la lejía). Elaboración propia.



Figura 16 (etiqueta de la lejía El Corte Inglés). Fuente: https://www.hipercor.es/supermercado/0110128014300280-el-corte-ingles-lejia-amarilla-botella-2-l/

Su etiquetado también nos da pistas sobre el producto gracias a los pictogramas de peligrosidad. En este caso encontramos dos, el pictograma de riesgo para la vida acuática y el de materias corrosivas: puede ser corrosivo para los metales, muy tóxico para los organismos acuáticos y provoca irritación cutánea y ocular.

Se descompone por calentamiento intenso, en contacto con ácidos y bajo la influencia de la luz. No mezclar con materiales reductores, combustibles (alcohol, amoniaco, acetona), oxidantes (agua oxigenada), ácidos (vinagre), agua caliente ni ningún otro tipo de limpiador multiusos. Esto produce gases tóxicos y corrosivos incluyendo cloro.

Solo se puede juntar con agua fría o templada, jabón y detergente (siempre diluyéndolo primero en agua).

Toda esta información ha sido sacada y resumida de las siguientes páginas web: *Quimica.es*, *Químicaindustrial.com*. *ar* y *Chemicalsafety.ilo.org.*

Posteriormente, se analizó toda la información recopilada tanto de parte del marco teórico como de las fichas de las sustancias y se preparó una clase práctica destinada en su mayoría a personas sin idea o con poco conocimiento previo sobre química (enfocada a niños y ancianos), para explicarles conceptos básicos de esta disciplina, la peligrosidad de los productos, sus características, etc.

En todos los casos los participantes implicados en la etapa experimental del proyecto realizaron un cuestionario tanto antes como después de la práctica para, de esta manera, poder conocer cuánto aprendieron respecto a lo que ya sabían previamente.

5.2. Primera encuesta

La encuestas se dividieron en dos partes, una primera compuesta de preguntas no evaluables para conocer algunos datos personales de los encuestados relevantes para el análisis y la recogida de datos y una segunda parte de preguntas evaluables para valorar el conocimiento previo y en algunos casos posterior a la clase práctica de las personas participantes en las encuestas.

La parte de preguntas personales en la primera encuesta se correspondió con las cuestiones de la 1 a la 11. Estas se hicieron con el fin de conocer cierta información personal sobre los participantes (edad, sexo, estudios, ámbito de trabajo…) que porteriormente sirvió para analizar las diferencias de los resultados entre hombre y mujeres; jóvenes, adultos y ancianos; estudios de la ESO, bachillerato y FP y carrera universitaria; y ámbitos de trabajo de las distintas ciencias y humanidades (consultar en el ANEXO 2). También sirvieron para comprender cuánta relación tenían con la química (a través de sus aficiones) y cuanta importancia le daban a los productos químicos a partir de la lectura de su etiquetado y de la compra de distintas marcas. Se trata de las siguientes:

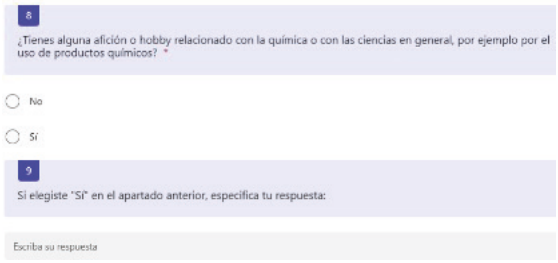


Figura 17 (preguntas 8 y 9 del bloque de preguntas no evaluables). Elaboración propia.

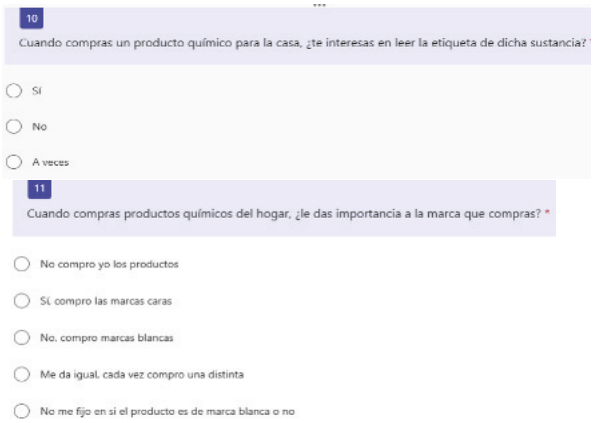


Figura 18 (preguntas 10 y 11 del bloque de hábitos de consumo y reciclaje). Elaboración propia.

La segunda parte de la primera encuesta se compuso de 30 preguntas evaluables (realmente son 31 pero la cuestión 21 es una extensión de la 20, por lo que se cuentan como una sola). Estas se propusieron para descubrir el conocimiento de los participantes sobre química tras su análisis y las diferencias entre las distintas edades, sexos, estudios y ámbitos de trabajo de los encuestados. Por esta razón se añadió un apartado en todas las preguntas en el que ponía "No sé", para evitar que los participantes rellenaran preguntas al azar que pudieran tener bien y así saber realmente de qué preguntas no conocían la respuesta y qué cuestiones habían fallado por un aprendizaje previo erróneo. A su vez esta parte de la encuesta se dividió en tres bloques:

El primero de ellos, el bloque de hábitos de consumo y reciclaje, tenía como objetivo evaluar cuánto sabían los participantes de la encuesta sobre todo acerca del reciclaje tanto de productos químicos como de sus envases y por consecuencia también averiguar si ellos mismos reciclaban en sus hogares. Las cuestiones que respondían dichas dudas eran desde la pregunta 12 hasta la 15, es decir, cuatro preguntas (consultar el resto en el ANEXO 3.1.)

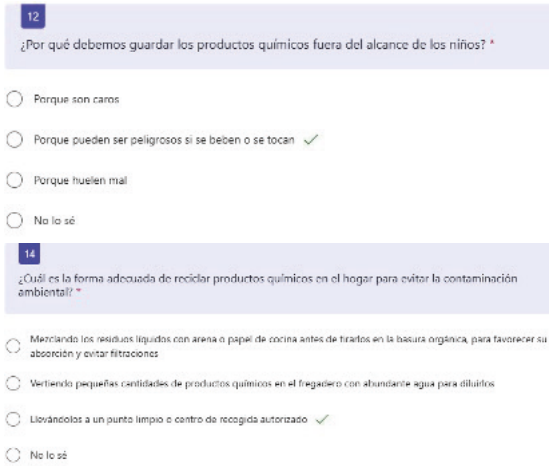


Figura 19 (preguntas 12 y 14 pertenecientes al bloque de hábitos de consumo y reciclaje). Elaboración propia.

El segundo y el tercer bloque de preguntas recopiló aquellas cuestiones más relacionadas con conceptos propiamente químicos, diferenciando una parte sencilla de otra más compleja y técnica (sobre todo para aquellos encuestados que no han estudiado nada relacionado con la química).

Trataba de 13 preguntas sencillas (realmente son 14 pero la cuestión 21 es una extensión de la 20, por lo que se cuentan como una sola) que iban desde la cuestión 16 hasta la 24, pero también pertenecían a este grupo las preguntas 26, 27, 36, 37 y 38. Estas buscaron evaluar el conocimiento químico más básico de los participantes y averiguar cuánto sabían sobre los peligros de los productos de casa y las mezclas entre ellos y por tanto sobre su etiquetado y los pictogramas de peligro. Aquí se muestran algunos ejemplos pero las demás preguntas se pueden consultar en el ANEXO 3.2.

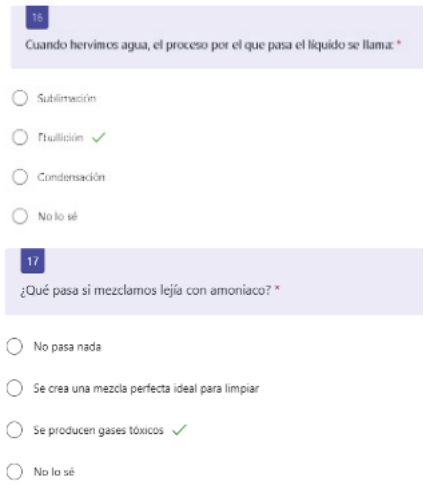


Figura 20 (preguntas 16 y 17 del bloque de preguntas sencillas sobre química). Elaboración propia.

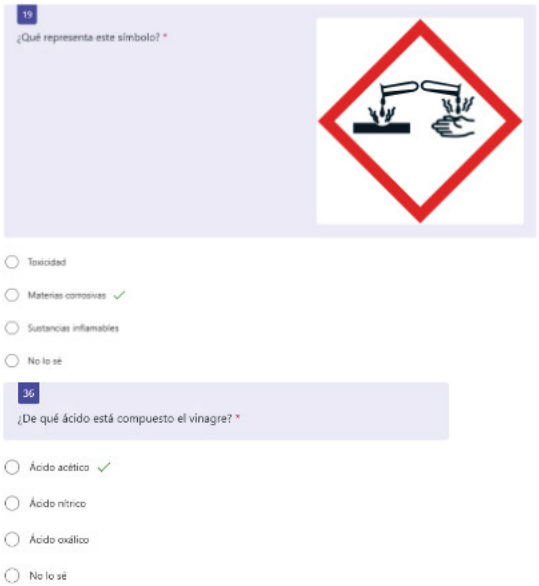


Figura 21 (preguntas 19 y 36 del bloque de preguntas sencillas sobre química). Elaboración propia.

Por último, el tercer bloque de preguntas se formó de otras 13 preguntas de carácter complejo (pero relacionadas con nuestras rutinas diarias) con el fin de identificar a aquellos encuestados con un saber alto sobre química. Las cuestiones que pertenecieron a este grupo fueron de la cuestión 25 a la 42, exceptuando las preguntas 26, 27, 36, 37 y 38, que como se mencionó anteriormente pertenecen al bloque más simple (consultar el resto en el ANEXO 3.3.).

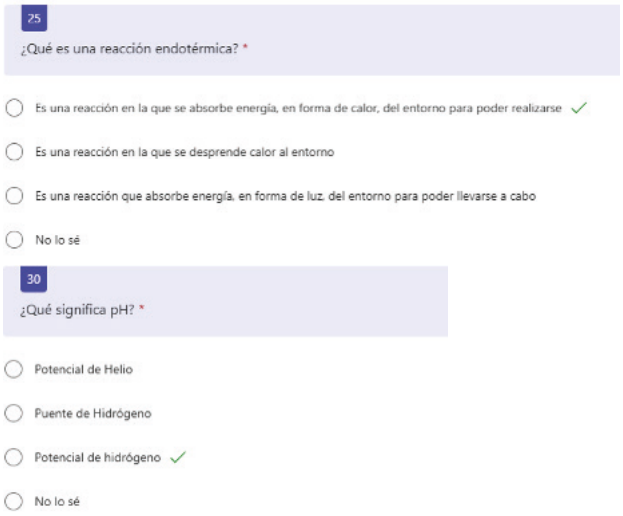


Figura 22 (pregunta 25 del bloque de cuestiones complejas sobre química) y Figura 23 (pregunta 30 del bloque de cuestiones complejas sobre química). Elaboración propia.

5.3. Clase práctica

Como se indicó anteriormente, se preparó una clase práctica con el fin de enseñar conceptos básicos de química a través de experimentos caseros, utilizando productos que cualquiera podría encontrar en su hogar. Por consecuencia, su objetivo también era dar respuesta a una gran parte de las preguntas evaluables de la primera encuesta. Esta actividad se impartió a jóvenes y ancianos de distintas formas. Gracias al fácil acceso a personas de 10 a 16 años a través del instituto I.E.S. Guadarrama, los experimentos con este grupo de edad se pudieron hacer presencialmente con niños de segundo de la ESO. Las clases que se impartieron duraron aproximadamente 55 minutos. Sin embargo, la experimentación con personas ancianas no se pudo hacer presencialmente debido a que las muestras de la primera encuesta pertenecían tanto a conocidos como a residencias de ancianos y centros de día a los que se envió el formulario; de este modo se mandó un video explicativo de nueve minutos que contenía el mismo argumento que los experimentos de las clases presenciales algo más resumido y claro.

La redacción de la clase práctica con todas las explicaciones se encuentra en el ANEXO 4.

El enlace al vídeo que se mandó a las personas de entre 65 y 85 años es el siguiente: https://drive.google.com/file/d/1IbaaYvMLf1XtvAfWZU1Jc0O_4wbGgmR_/view?usp=drive_link o mediante este QR.

5.4. Segunda encuesta

La segunda encuesta estaba destinada a que la rellenaran aquellos participantes de los experimentos que habían realizado a su vez el primer formulario, con el fin de conocer cuánto habían aprendido durante la práctica, con un márgen de diferencia de dos semanas, es decir, la segunda encuesta se tenía que hacer dos semanas después de haber atendido a las explicaciones de la clase experimental o vídeo.

Esta también se dividió en dos grupos principales de preguntas. El primero, el de datos personales, conservó las preguntas de iniciales, edad y género para poder identificar a los participantes en la primera encuesta comparando esta información.

En cuanto a las tres cuestiones sobre aficiones, lectura de las etiquetas y la compra de marcas, se reformularon las dos primeras para conocer si la clase había influido en la respuesta sobre alguna cuestión, la última pregunta no se añadió en la segunda encuesta.

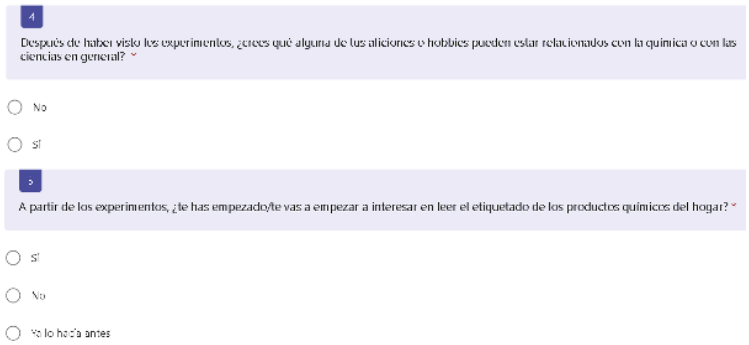


Figura 24 (preguntas 4 y 5: aficiones y lectura de etiquetas de productos químicos del hogar). Elaboración propia.

El segundo grupo, el de las cuestiones evaluables, se volvió a repetir completo, con el objetivo de que los participantes completaran la segunda encuesta con los conceptos aprendidos a través de los experimentos, a pesar de que no se diera respuesta a todas las preguntas, pero sí a la mayoría.

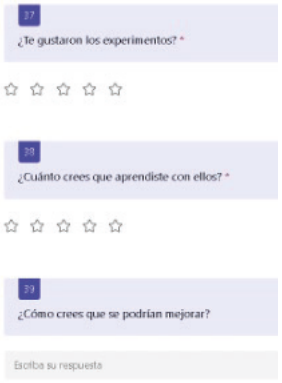


Figura 25 (preguntas 37, 38 y 39: opinión, aprendizaje y cómo mejorar). Elaboración propia.

Para finalizar, al final del formulario se añadieron tres preguntas para conocer qué opinaron los encuestados sobre las clases prácticas, cuanto consideraron ellos que aprendieron y en que se podía mejorar.

Tras recoger y analizar los datos resultantes de la fase experimental, se llegó a unas conclusiones que confirman o desmintieron la hipótesis del proyecto.

6. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS

6.1. Primera encuesta

La primera encuesta la realizaron un total de 179 personas de todos los grupos de edad (niños/jóvenes, adultos y ancianos) y género (todos los resultados de esta encuesta se pueden apreciar en el ANEXO 5).

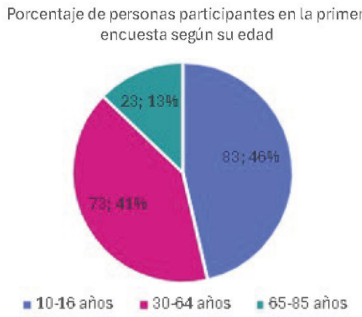


Figura 26 (gráfica sobre los porcentajes de las personas en función del grupo de edad). Elaboración propia.

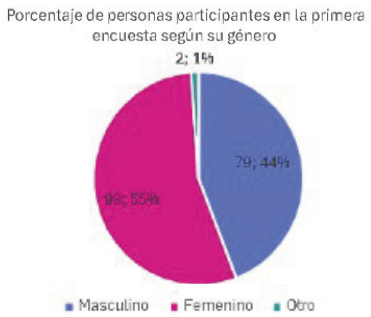


Figura 27 (gráfica sobre los porcentajes de las personas en función del género). Elaboración propia.

6.1.1. Análisis de las preguntas no evaluables

En las preguntas no evaluables sólo un 9% (6 jóvenes, 9 adultos y un anciano) de los encuestados afirmaron tener una afición relacionada con las ciencias o la química.

Algunos de estos respondieron a la pregunta 9 ejemplificando sus hobbies relacionados a la química y las ciencias como manualidades o experimentos, la fabricación de cosméticos, deportes, astronomía, cocina, cultivo de plantas… entre otros.

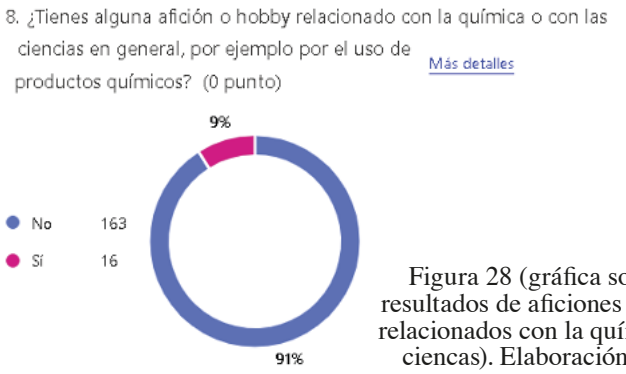


Figura 28 (gráfica sobre los resultados de aficiones o hobbies relacionados con la química o las ciencas). Elaboración propia.

Según los resultados de la pregunta 10, solo un 17% de los participantes (11 jóvenes, 12 adultos y 8 ancianos) se interesa en leer las etiquetas de los productos químicos de casa, un 36 % (35 jóvenes, 24 adultos y 5 ancianos) no las revisa nunca y un 47% de los encuestados se fija en ellas de vez en cuando (37 jóvenes, 37 adultos y 10 ancianos). Como se puede apreciar cuando se valoran los datos anteriores, parece que el grupo de más edad es el que más desinterés tiene respecto a la lectura del etiquetado de productos.

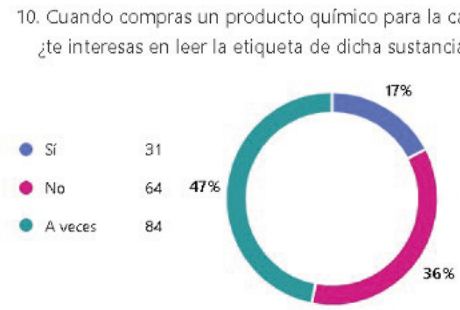


Figura 29 (gráfica sobre los resultados del interés acerca del etiquetado de productos del hogar). Elaboración propia.

En la última pregunta no evaluable (la pregunta 11) un 37% de los participantes (62 jóvenes, un adulto y 4 ancianos) afirman no comprar ellos mismos los productos químicos de casa. En el caso de los participantes de entre 10 y 16 años parece destacable mencionar un 75% de ellos no se encarga comprar las sustancias químicas, no se sabe si es porque no ayudan en la compra, porque los padres prefieren que no se relacionen con este tipo de compuestos (que pueden llegar a ser peligrosos) o simplemente porque ellos mismos no muestran interés.

Un 12% (3 jóvenes, 11 adultos y 7 ancianos) asegura comprar marcas caras, un 15% de los encuestados dicen comprar marcas blancas o baratas (2 jóvenes, 22 adultos y 3 ancianos), un 23% no le da importancia a la marca que compra (6 jóvenes, 30 adultos y 6 ancianos) y un 12% no se fija en la marca (10 jóvenes, 8 adultos y 4 ancianos).

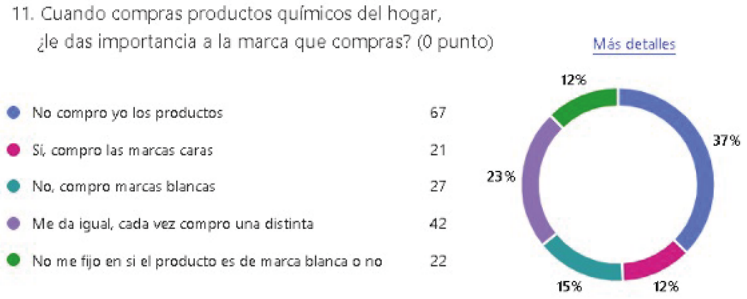


Figura 30 (gráfica sobre los resultados del uso de distintas marcas de productos del hogar). Elaboración propia.

6.1.2. Análisis de las preguntas evaluables de hábitos de consumo y reciclaje

Como se ha indicado en la metodología, las 30 cuestiones evaluables están divididas en tres grupos principales: preguntas de hábitos de consumo y reciclaje, preguntas sobre química sencillas y preguntas sobre química complejas. Uno de los objetivos del proyecto es evaluar los conocimientos de los encuestados y analizar las diferencias en cada bloque de cuestiones en función del grupo de edad, sexo, estudios y ámbito de trabajo.

Empezamos analizando el bloque de hábitos de consumo y reciclaje de la primera encuesta debido a que es el menos técnico y el más cercano al día a día de los participantes, en consecuencia el más fácil de entender y examinar.

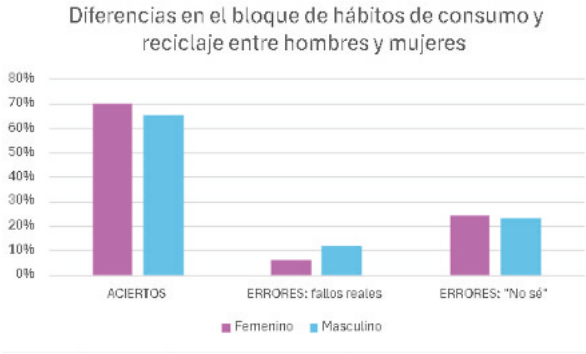


Figura 31 (gráfica de diferencias en el bloque de preguntas de hábitos de consumo y reciclaje entre hombre y mujeres). Elaboración propia.

Comenzando con los sexos, divididos en masculino y femenino, las mujeres tuvieron un 70% de aciertos mientras que los hombres un 65%. La suma de los fallos reales (6%) y los "no sé" (24%) hicieron que el porcentaje de errores totales fuesen de un 30% en el caso de las mujeres; en las personas del sexo masculino, la suma de los fallos reales (12%) y los "no sé" (23%) ascendió a un de 35% de errores totales en el primer grupo de preguntas. De esta manera se puede decir que la comparación entre los distintos sexos muestra unos resultados bastante igualados, a pesar de que las mujeres parecen acertar ligeramente más preguntas y fallar menos por errores reales. El porcentaje de errores por falta de conocimiento es casi idéntico en ambos casos.

El análisis cuando comparamos los tres grupos de edad mostró resultados similares entre los dos grupos adultos mientras que se reflejó una variación en el grupo de los menores de edad en cuanto al porcentaje de aciertos y el de errores por desconocimiento. Los más jóvenes tuvieron un 55% de cuestiones correctas en el ámbito de las preguntas de hábitos de consumo y reciclaje mientras que los adultos y los ancianos acertaron en un 79% y 77%, respectivamente. En cuanto a los fallos reales, las medias de los porcentajes parecen ser similares destacando por poco la cantidad de errores por parte de las personas de entre 10 y 16 años (8%); los fallos de las personas de entre 30 y 64 años representaron un 5% y los de las personas de 65 a 85 años un 3%.

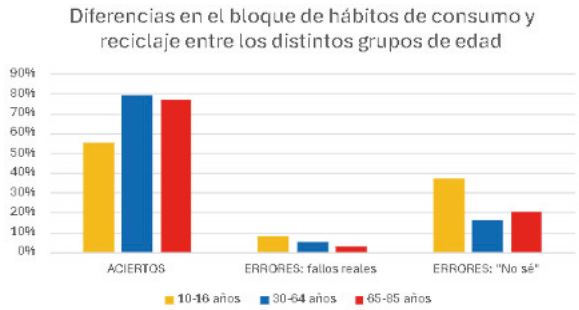


Figura 32 (gráfica de diferencias en el bloque de preguntas de hábitos de consumo y reciclaje entre los distintos grupos de edad). Elaboración propia.

En la sección de errores por desinformación hay una clara evidencia de que los jóvenes son más ignorantes en cuanto al consumo y reciclaje de productos químicos debido a que un 37% fueron fallos por no saber contestar a las preguntas. Mientras tanto solo un 16% de los adultos y un 20% de los ancianos fallaron por esta razón.

La comparación entre los distintos niveles académicos de los participantes reveló que las personas con los estudios académicos más altos, es decir, que han ido a la universidad, tienen más porcentaje de aciertos y menos dudas que los encuestados que no han estudiado después del instituto (bien porque no lo han terminado todavía o porque han decidido no seguir estudiando).

Los universitarios acertaron un 79% de las cuestiones, mientras que los estudiantes de la ESO obtuvieron un 57% de las respuestas correctas y los estudiantes de bachillerato y formación profesional un 68% bien. En cuanto a los fallos reales, los dos grupos de nivel de estudio más alto fallaron el mismo porcentaje de preguntas, un 4%. Los participantes que solo han estudiado la ESO y sus equivalentes (EGB) tuvieron un 7% de fallos reales.

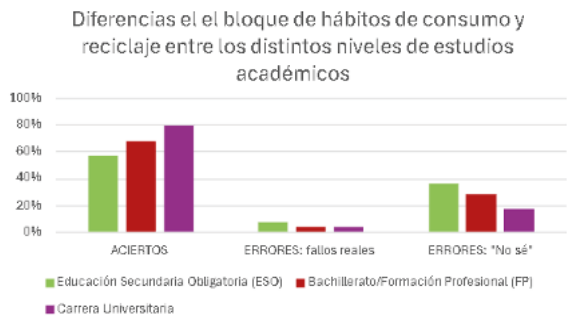


Figura 33 (gráfica de diferencias en el bloque de preguntas de hábitos de consumo y reciclaje entre los distintos estudios académicos de los encuestados). Elaboración propia.

Además se apreció que estos últimos son los participantes más desinformados sobre el tema debido a que fallaron un 36% en las cuestiones debido al desconocimiento, los que estudian o han estudiado bachillerato o FP fallaron 28% por no saber la respuesta a las preguntas y los estudiantes de grados se equivocaron un 17% por este motivo.

De esta manera se puede llegar a la conclusión de que aquellos encuestados que tienen más estudios académicos también tienen más conocimiento en este ámbito, aunque tampoco podemos saber si es porque han estudiado más o porque algunos son más mayores y por lo tanto tienen más experiencia y, a su vez, conocimiento.

Por último, algunos de los encuestados afirmaron trabajar o haber trabajado en distintos ámbitos por lo que también se comparó la diferencia de conocimientos en función del ámbito de trabajo, a pesar de haber una posibilidad de no tener relación con los estudios de la persona. En el bloque de hábitos de consumo y reciclaje pareció que la media de aciertos entre los distintos campos de trabajo es bastante similar, sobretodo en los ámbito de las ciencias tecnológicas (75% de aciertos), las ciencias sociales (75% de preguntas correctas), las humanidades (78% correcto) y otros ámbitos no especificados (75% de respuestas bien). Destacó ligeramente por encima de los demás el campo de los trabajos asociados a las ciencias de la salud, que generalmente son los que más se relacionan con la química, obteniendo un porcentaje de preguntas respondidas correctamente del 88%. Entre los errores por fallos reales ninguno de los resultados destacó notoriamente y los porcentajes de errores oscilaron entre el 2%, por parte de los trabajadores tecnológicos, y el 7% en el ámbito de las ciencias sociales.

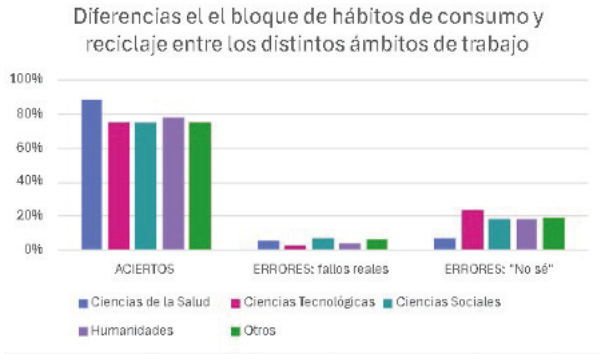


Figura 34 (gráfica de diferencias en el bloque de preguntas de hábitos de consumo y reciclaje entre los distintos ámbitos de trabajo). Elaboración propia.

En cuanto a los errores por desinformación se volvió a apreciar una variación con respecto los demás por parte de los trabajadores en el ámbito de las ciencias de la salud, que fallaron menos en este contexto (tan solo un 7%), mientras que los campos de ciencias sociales, humanidades y los no especificados presentaron unos porcentajes de error muy similares (18%, 18% y 19%, respectivamente) y el ámbito de la tecnología fue el que más errores cometió por falta de conocimiento sobre reciclaje y consumo, con un 23% de fallos por esta razón.

6.1.3. Análisis de las preguntas evaluables de cuestiones sencillas sobre química

El segundo grupo de preguntas corresponde a las cuestiones de química de carácter sencillo, que sigue siendo un bloque accesible para aquellas personas que no han estudiado estrictamente esta disciplina pero que sí que han aprendido algo a lo largo de su etapa estudiantil, al menos en primaria y la eso o sus equivalentes.

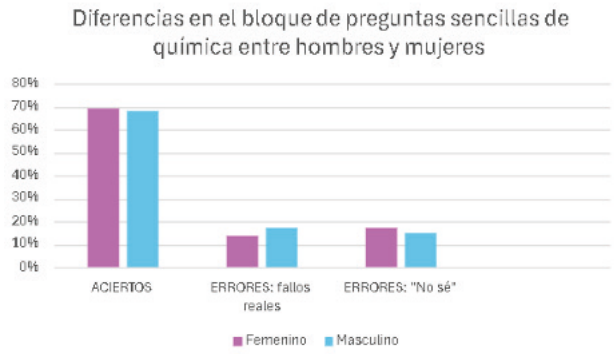


Figura 35 (gráfica de diferencias en el bloque de preguntas de preguntas sencillas sobre química entre hombre y mujeres). Elaboración propia.

Los resultados de este análisis de datos en cuestión del género indicaron que el sexo femenino acertó un 69% de las preguntas del bloque, fallando un total del 31% de las cuestiones (14% de fallos reales y 17% de preguntas de las que no se sabían la respuesta). Los hombres tuvieron un 68% de aciertos, mientras que un 17% del total se relacionó con los fallos reales y un 15% representaron las cuestiones a las que no tenían respuesta, sumando un 32% de error.

Como se puede apreciar nuevamente entre esta comparación, no parece haber diferencias de conocimiento en este ámbito que sean muy significativas, únicamente que las mujeres parecen tener un ligero porcentaje más alto de errores por falta de conocimiento que los hombres, que ese pequeño aumento se da por fallos reales.

Cuando se compararon los resultados entre los tres grupos de edad se apreció una considerable diferencia entre las respuestas de los más jóvenes y los adultos, ya que como podemos distinguir en la gráfica, la cantidad de aciertos y fallos que presenta el grupo de los participantes de entre 10 y 16 años es lo opuesto a lo que se diferencia en el grupo de encuestados de entre 35 y 64 años, es decir, mientras que este último conjunto es el que más aciertos tiene de los tres y el que menos fallos reales presenta, los niños son los que menos porcentaje de aciertos poseen y los que más errores tienen, tanto por desinformación como por equivocarse en la respuesta.

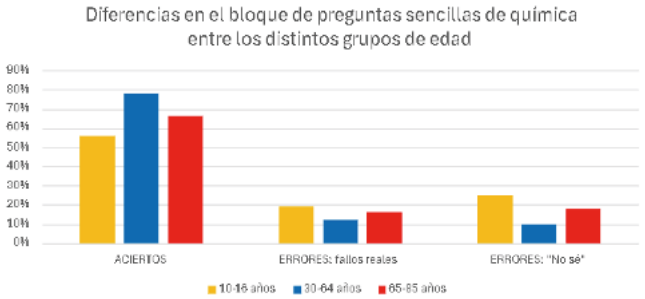


Figura 36 sencillas sobre química entre los tres grupos de edad). Elaboración propia.

De esta manera los menores de edad acertaron con un 56% de respuestas correctas, los adultos con un 78% y los ancianos con un 66% de aciertos. Por otro lado, el porcentaje de los fallos reales estuvo algo más equilibrado a pesar de la diferencia que se ha indicado anteriormente; los encuestados de entre 10 y 16 años tuvieron un 19% de errores por indicar una respuesta incorrecta, las personas de entre 30 y 64 años se equivocaron un 12% y las personas mayores tuvieron mal un 16% de las preguntas.

En el ámbito del desconocimiento se apreció que los participantes más jóvenes fueron los que más fallos cometieron con un 25% de errores por ignorancia, los adultos fallaron un 10% por esta razón y los ancianos cometieron un 18% de error.

Según la comparación de las respuestas entre los niveles de estudios de los encuestados, como ocurrió con el apartado anterior, se apreció una clara diferencia de conocimientos básicos de química entre todos aquellos participantes de la primera encuesta que tienen estudios universitarios y los que

no, siendo los que sí los que mayor porcentaje de aciertos tiene (76%) y los que menor porcentaje de errores tiene entre los fallos reales (12%) y errores con desconocimiento (2%). A pesar de que se vuelve a indicar que no sabemos si es la cantidad de estudio o porque la mayoría son mayores y por lo tanto tienen más experiencia y, a su vez, conocimiento.

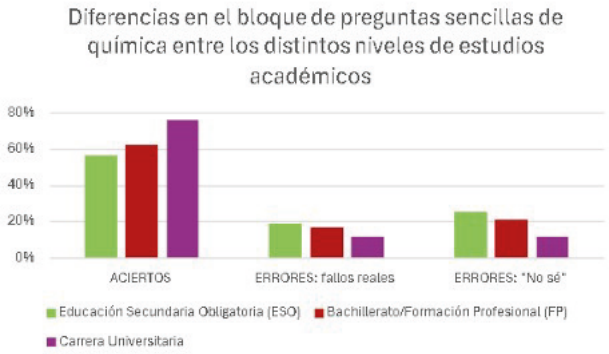


Figura 37 (gráfica de diferencias en el bloque de preguntas de preguntas sencillas sobre química entre los distintos niveles de estudio de los participantes en la primera encuesta). Elaboración propia.

De este modo, las personas que están estudiando actualmente o han estudiado la Educación Secundaria Obligatoria y sus equivalentes y los alumnos o graduados de Bachillerato y FP se encontraron en un rango de aciertos y fallos mucho más uniforme. Los primero tuvieron un 56% de aciertos, sumando un total de 44% de error entre los fallos reales (19%) y los errores de "no sé" (25%) y los segundos acertaron un 62% de las preguntas, fallaron un 17% por un conocimiento erróneo y tuvieron mal un 21% de las preguntas por desinformación.

Para finalizar con este segundo bloque de preguntas, en este caso no se apreció una diferencia significativa entre los ámbitos más relacionados con las ciencias químicas y los menos relacionados en función de los aciertos.

Todos los grupos comparativos oscilaron alrededor del 70%, siendo el grupo de las humanidades el que menos aciertos tuvo (71%) y ámbito de las ciencias tecnológicas el que mayor número acertó, con un 77%.

En cuanto a los fallos reales el grupo de "otros" y el de las ciencias de la salud tuvieron erróneas el mismo porcentaje de preguntas (17%), los dos grupos más relacionados con el campo de las humanidades obtuvieron un resultado similar, teniendo el ámbito de las ciencias sociales un 12% de fallos reales y las humanidades un 13% de preguntas incorrectas por un conocimiento erróneo. Mientras, el ámbito de las ciencias tecnológicas fue el que menos fallos tuvo en este campo con un porcentaje del 11%.

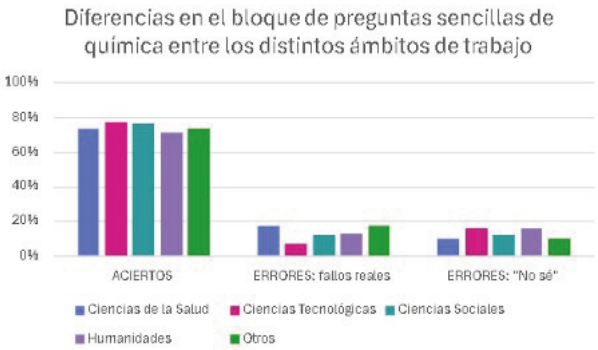


Figura 38 (gráfica de diferencias en el bloque de preguntas de preguntas sencillas sobre química en función de los distintos ámbitos de trabajo). Elaboración propia.

Por esto, sí que parece destacable mencionar que los grupos menos relacionados con la química fallaron menos que el grupo más cercano a esta disciplina, como lo son las ciencias de la salud. Este suceso puede deberse lo siguiente, y es que el grupo más ligado a las letras no falla tanto por haber aprendido información errónea sino por desinformación, obteniendo un total de un 16% de errores marcados por la respuesta "no sé" en el caso de las humanidades, a pesar de que el porcentaje es el mismo que antes en el campo de las ciencias sociales (un 12%).

Mientras tanto, el grupo de las ciencias de la salud no conocía la respuesta de un 10% de preguntas, al igual que las personas que no se clasificaron en ningún ámbito en concreto y los trabajadores del ámbito tecnológico no acertaron un 16% de las cuestiones por esta misma razón.

6.1.4. Análisis de las preguntas evaluables de cuestiones difíciles sobre química

Por último está el tercer bloque de preguntas, correspondientes con las cuestiones químicas difíciles, que analizamos en último lugar debido a que, gracias a su complejidad, permite identificar y distinguir mejor a los grupos más conocedores de esta rama de la ciencia.

Los datos de las mujeres muestran que acertaron con un 32% del total, obteniendo una suma de 68% de errores entre los fallos reales (25%) y los "no sé" (43%). El sexo masculino obtuvo un 29% de aciertos mientras que la suma de errores ascendió a un 71% (28% de fallos reales y 43% de preguntas que no sabían responder).

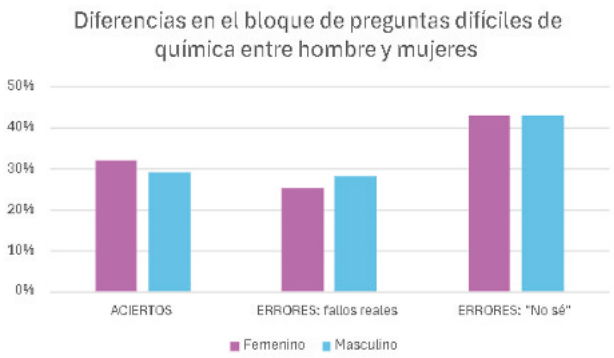


Figura 39 (gráfica de diferencias en el bloque de preguntas de preguntas difíciles sobre química entre hombre y mujeres). Elaboración propia.

Al igual que en los bloques de preguntas posteriores, esta comparativa no muestra una diferencia significativa entre hombres y mujeres más allá de que el sexo femenino parece acertar ligeramente más preguntas y fallar un pequeño porcentaje menos por errores reales.

En la comparación entre los distintos grupos de edad vuelven a destacar las personas de entre 30 y 64 años con un 40% de preguntas bien contestadas, siguiendo por detrás los ancianos, que acertaron un 20% de las preguntas y siendo los menores de edad los que menos respuestas correctas marcaron (21%).

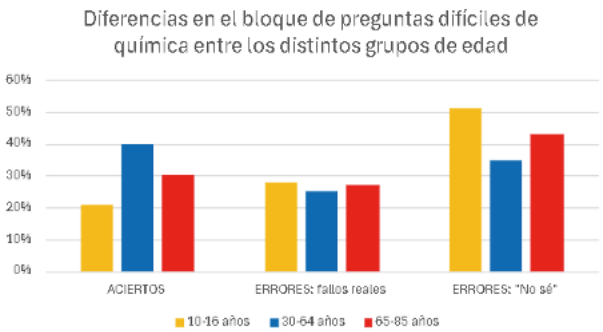


Figura 40 (gráfica de diferencias en el bloque de preguntas de preguntas difíciles sobre química entre los tres grupos de edad). Elaboración propia.

En cuanto a los fallos por tener un conocimiento erróneo de los conceptos, los porcentajes de los jóvenes, adultos y mayores se mantuvieron equilibrados siendo estos del 28%, 25% y 27%, respectivamente.

Por último, la cantidad de errores debidos a la desinformación fue bastante alta por parte de los encuestados más jóvenes, en comparación con los otros grupos de edad, siendo esta de un 51%. Los ancianos y el grupo de edad media fallaron por esta razón un porcentaje del 43% en el caso de los más mayores y un 35% por parte de los adultos.

De este modo, parece significativo destacar que el grupo de edad con más conocimientos sobre química es el de los adultos, que combina la experiencia y la cantidad de estudios que también podrían tener los ancianos (pero no los menores, debido a su juventud) con la falta del posible deterioro cognitivo que causa la edad cuando nos hacemos mayores o tener menores niveles de estudio.

Como ocurrió en los otros bloques de preguntas, los encuestados, divididos según los niveles académicos, universitarios fueron los que más preguntas acertaron con un 40% correcto. El segundo nivel de estudios académicos más alto mostró el segundo porcentaje más elevado, con un 28% de aciertos por parte de los estudiantes o graduados de FP y Bachillerato. Los alumnos o graduados de la ESO acertaron un 21% de las preguntas.

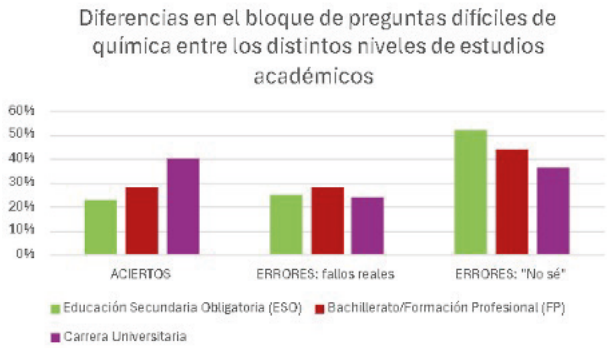


Figura 41 (gráfica de diferencias en el bloque de preguntas de preguntas difíciles sobre química entre los distintos niveles de estudios académicos). Elaboración propia.

Los resultados de los fallos reales demostraron que las personas que estudian o han estudiado Bachillerato o Formación Profesional fueron las que más fallaron en este ámbito con un porcentaje del 28%. Los otros dos grupos le siguieron con un 27% de errores reales en el caso de los estudiantes o graduados de la ESO y con un 24% de errores por parte de los que estudian o han estudiado en la universidad.

Además, terminamos destacando que los encuestados que estudian o solo han estudiado hasta el instituto son los que más fallan por desconocimiento (puede ser porque la mayoría de estos participantes son menores y, como pasa cuando se comparan los grupos de edad, los adultos fallan menos por esta razón), con un 52% y 44%, mientras que

los que tienen estudios universitarios son los que menos fallan por falta de información con un 36% de error.

Para concluir con el bloque de preguntas complejas y con el análisis de la primera encuesta se apreció en la comparación entre los distintos ámbitos de trabajo que, a diferencia del anterior bloque de preguntas, en este caso se vió una significativa diferencia entre los resultados de aquellos campos más relacionados con la química con los que están menos ligados a la disciplina.

Los que visiblemente más preguntas acertaron fueron los trabajadores del ámbito de la salud con un 48% de aciertos, mientras que el siguiente valor más alto fue de las personas que no se identificaron en ningún campo en concreto (37%) y el grupo con menos aciertos tuvo fue el de las ciencias sociales con un total de aciertos del 20%.

En cuanto a los fallos reales, los porcentajes fueron similares, estando todos los grupos entre el 20% y el 35%: los tecnológicos fueron el grupo que menos fallos reales cometió con un porcentaje del 22% y el grupo que más falló fue el de "otros", con un 32% de errores.

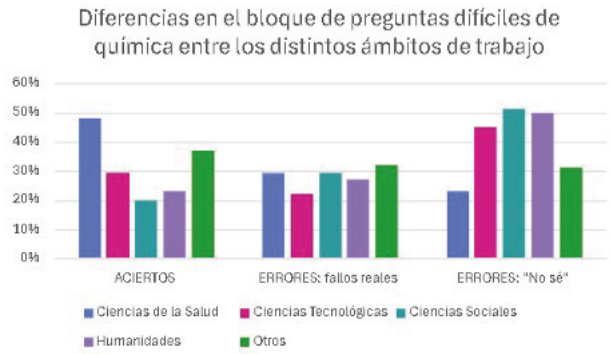


Figura 42 (gráfica de diferencias en el bloque de preguntas de preguntas difíciles sobre química entre los distintos ámbitos de trabajo). Elaboración propia.

Para finalizar, los tres grupos que más fallos tuvieron debido a la desinformación sobre química más avanzada fueron los dos más relacionados con las letras (humanidades y ciencias sociales) junto con el ámbito tecnológico, que a pesar de ser científico no está tan vinculado a la química. Sus porcentajes de error oscilaron entre un 45 y un 51%. Los que menos fallaron por esta razón fueron los del campo más relacionado a la ciencia anteriormente mencionada con un 23% de fallos por desconocimiento y el segundo ámbito de trabajo que menos errores cometió no se identifica de una manera concreta pero tuvo mal un 31% de las cuestiones.

6.2. Análisis de los resultados de la segunda encuesta y comparación con la primera encuesta

La segunda encuesta la tenían que realizar los jóvenes y los ancianos dos semanas después de haber asistido a la clase práctica o de haber visto el video. A esta encuesta respondieron un total de 37 personas, a pesar de que los experimentos los vieron más (por ejemplo, aproximadamente 60 jóvenes asistieron a la clase práctica y sólo 16 de ellos enviaron la segunda encuesta).

De esta manera, aunque se tratase de una muestra pequeña, se pudieron comparar los resultados entre los géneros, las edades y los estudios, pero no los de los ámbitos de trabajo, debido a la escasa cantidad de encuestas que se recibió con estos datos (consultar los resultados en el ANEXO 5).

6.2.1. Análisis de las preguntas no evaluables

Según las respuestas a la pregunta 4 de la de la segunda encuesta, un 43% de los participantes (6 personas de entre 10 y 16 años y 10 mayores) afirmaron haber podido apreciar la relación o influencia de la química o las ciencias en sus hobbies tras haber atendido a las explicaciones de los experimentos, mientras que un 57% (10 jóvenes y 11 ancianos) aseguró que las explicaciones no influyeron sobre esta percepción. De esta manera destacamos que los que aseguran estar menos relacionados con la química son las personas más jóvenes.

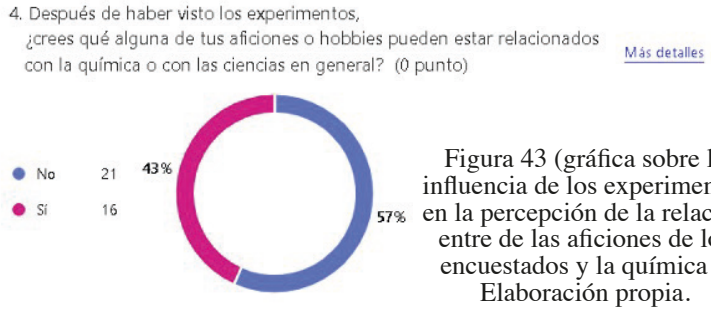


Figura 43 (gráfica sobre la influencia de los experimentos en la percepción de la relación entre de las aficiones de los encuestados y la química). Elaboración propia.

La segunda y última pregunta de esta sección indicó que a partir de los experimentos, un 38% de los encuestados se iba a empezar a interesar en leer las etiquetas de las sustancias químicas de casa (6 jóvenes y 8 ancianos), un 35% (9 jóvenes y 4 ancianos) aseguró no querer fijarse en los etiquetados tras la lección y un 27% (un niño y 9 mayores) afirmó que ya lo hacía antes.

En esta sección parece significativo que tan solo un jóven se interesara antes de los experimentos en leer las etiquetas y que, tras la lección, la gran parte de de los menores indicara no querer prestar atención a ellas, lo que demuestra gran desinterés por parte de los niños en cuanto a las propiedades y los peligros que pueden suponer los productos químicos. Pasó al contrario con los ancianos, que una gran parte de ellos afirmó fijarse en el etiquetado antes de ver el video y a ellos se sumaron 8 personas más trás la lección, lo que demuestra más interés por parte de las personas mayores.

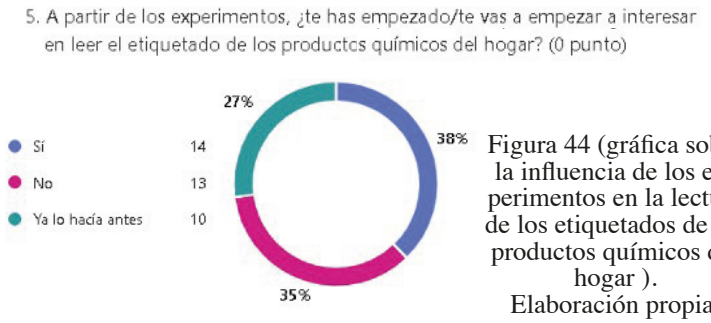


Figura 44 (gráfica sobre la influencia de los experimentos en la lectura de los etiquetados de los productos químicos del hogar). Elaboración propia.

6.2.2. Comparación entre las preguntas evaluables de los bloques de hábitos de consumos y reciclaje de las dos encuestas.

El objetivo principal de los experimentos fue que el número de aciertos de los participantes ascendiera y que descendiera el número de fallos por desinformación, por lo que la comparación entre los resultados de las dos encuestas se centra sobre todo esos datos.

Comenzamos comparando el grupo de preguntas sobre hábitos de consumo y reciclaje de nuevo, debido a que es el más sencillo y cercano a los participantes, al igual que en la encuesta anterior.

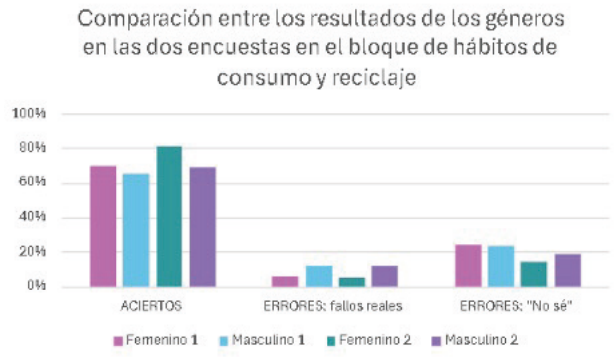


Figura 45 (gráfica de diferencias entre las dos encuestas en el bloque de preguntas de hábitos de consumo y reciclaje en función del sexo). Elaboración propia.

Como se aprecia en la gráfica, el número de aciertos aumentó un 11% en el caso de las mujeres mientras que los hombres pasaron de acertar un 65% de las cuestiones a un 69%, por lo que se puede destacar que las mujeres reciclan más o tienen mayor conocimiento sobre el tema que los hombres.

Además, resaltó que, en la segunda encuesta, las mujeres fallaran menos por desconocimiento.

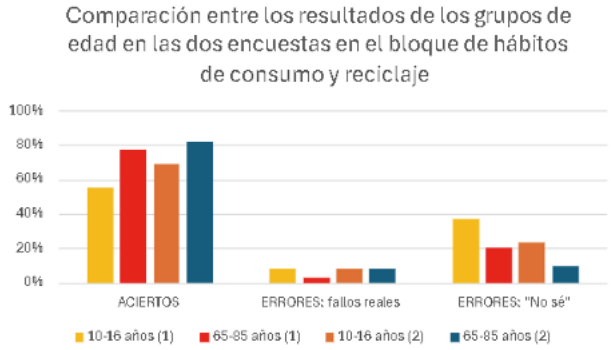


Figura 46 (gráfica de diferencias entre las dos encuestas en el bloque de preguntas de hábitos de consumo y reciclaje en función de la edad). Elaboración propia.

En cuanto a las diferencias según los grupos de edad, se apreció una mejora en ambos casos, llegando a tener un 69% de aciertos en el caso de los jóvenes y un 82% de respuestas correctas en el de los ancianos. También destacó una notoria mejoría en el descenso el de las preguntas que no sabían responder, sin afectar demasiado a los porcentajes de fallos reales.

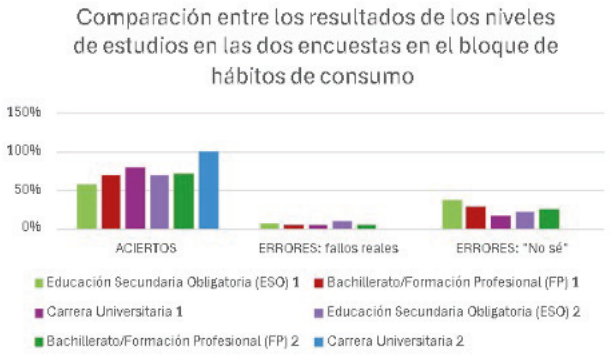


Figura 47 (gráfica de diferencias entre las dos encuestas en el bloque de preguntas de hábitos de consumo y reciclaje en función del nivel de estudios académicos). Elaboración propia.

Las respuestas según los niveles de estudios académicos comparando la primera y la segunda encuesta no presentaron mejoras muy significativas (a pesar de que sí que hubo

un ligero progreso tras la lección), a excepción de una mejoría en las respuestas de los universitarios, que como se puede apreciar en la gráfica acertaron un 100% de las preguntas de hábitos de consumo y reciclaje. De este modo consideramos que estas personas son las que más conocimientos tienen acerca del tema de reciclaje y por lo tanto son los que más lo llevan a la práctica (estos datos tampoco son demasiado significativos debido a la pequeña muestra).

6.2.3. Comparación entre las preguntas evaluables de los bloques de preguntas sencillas de las dos encuestas.

Al igual que en el anterior análisis, continuamos comparando las encuestas con el bloque de preguntas sencillas sobre química, que siguen siendo accesibles para todas las edades.

Esta vez la diferencia comparando las encuestas según los sexos de los participantes no mostraron resultados muy variados, sino que fueron bastante similares en los tres ámbitos de aciertos, fallos reales y errores por desinformación, a pesar de que en este último sí que se apreciara una ligera mejoría ya que el porcentaje de preguntas a las que no tienen respuesta baja un poco es ambos casos, hasta un 7% en el caso de las chicas y un 10% en el caso de los chicos.

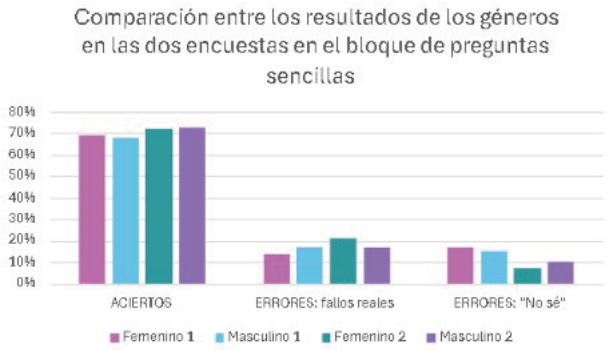


Figura 48 (gráfica de diferencias entre las dos encuestas en el bloque de preguntas sencillas entre mujeres y hombres). Elaboración propia.

De la misma manera que en la anterior comparación, en este ámbito los distintos grupos de edad tampoco parecieron mejorar significativamente por el alto nivel de porcentaje anterior, quedando al final en un 71% de aciertos en el caso de los jóvenes y un 73% de aciertos en el caso de los ancianos. Lo que sí parece destacable es que, en la primera encuesta, y sobre todo en comparación con los adultos, los niños eran claramente el grupo de edad que menos fallos cometía mientras que se ve una mejora que lo posiciona en un nivel similar al de los mayores.

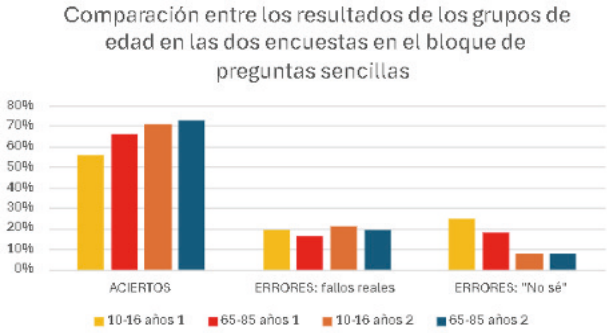


Figura 49 (gráfica de diferencias entre las dos encuestas en el bloque de preguntas sencillas entre los jóvenes y los ancianos). Elaboración propia.

En cuanto al porcentaje de fallos por estar desinformados, ambos grupos mejoraron, lo que asegura un aprendizaje mínimo gracias a los experimentos.

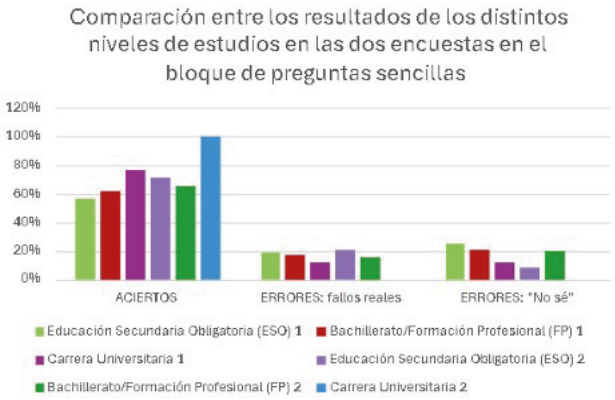


Figura 50 (gráfica de diferencias entre las dos encuestas en el bloque de preguntas sencillas entre los distintos niveles de estudios). Elaboración propia.

Las mejoras en los estudiantes de carreras universitarias fueron muy notorias aunque la cantidad de muestras puede afectar considerablemente a la recogida de estos datos y por lo tanto, pueden variar los porcentajes. De la misma forma que en otros ámbitos, se aprecian pequeñas mejoras, pero en este caso no son muy notorias.

6.2.4. Comparación entre las preguntas evaluables de los bloques de hábitos de consumos y reciclaje de las dos encuestas.

Para concluir el análisis, de datos terminamos comparando el bloque de preguntas complejas sobre química, que es el que realmente demuestra la atención y la predisposición de los participantes de la etapa experimental a la hora de recibir información y aprender a través de la clase práctica y el video.

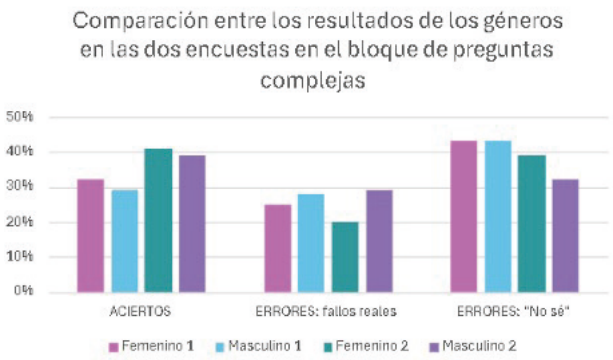


Figura 51 (gráfica de diferencias entre las dos encuestas en el bloque de preguntas complejas sobre química entre los distintos sexos). Elaboración propia.

De nuevo, hubo una mejora general, destacando que los hombres aumentaron su porcentaje de aciertos de un 29% a un 39%; mejorando un 10%. También descendió el porcentaje de fallos por desconocimiento, que no afectó en exceso al número de errores reales.

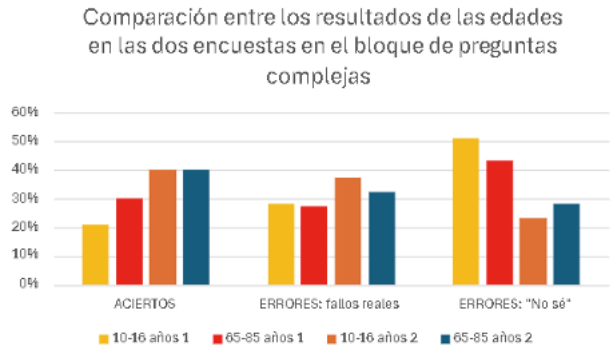


Figura 52 (gráfica de diferencias entre las dos encuestas en el bloque de preguntas complejas sobre química entre los grupos de edad). Elaboración propia.

En el caso de los ancianos y las personas de entre 10 y 16 años, en el bloque de las cuestiones difíciles de química destacó la mejora de los más jóvenes aumentando el porcentaje de aciertos hasta un 20%.

También parece significativo destacar el aumento de fallos reales en el caso de los niños a pesar de haber tenido más preguntas correctas, que aumentó a un 37%, lo que da la impresión de que la asimilación de los conceptos más complejos fue difícil, también aplicado en el caso de las personas de entre 65 y 85 años.

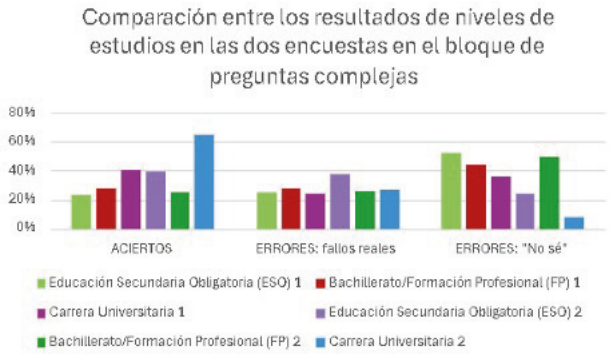


Figura 53 (gráfica de diferencias entre las dos encuestas en el bloque de preguntas complejas sobre química entre los distintos niveles de estudios académicos de los encuestados). Elaboración propia.

Por último, entre los distintos grupos de niveles de estudios académicos se aprecia una diferencia que antes no se había dado y es que en el caso de los encuestados estudiantes de Bachillerato y FP, se notó un descenso de preguntas acertadas. Mientras que en la primera encuesta las cuestiones correctas sumaron un porcentaje del 28%, en la segunda solo se obtuvieron un 25% de las preguntas bien, lo que llama la atención debido a que ha sido en único caso en el que ha ocurrido pero es probable que sea debido a la a la falta de muestras por lo que es un dato que no es tan significativo, pero que es destacable.

Los demás grupos mostraron una leve mejora y los errores por fallos reales y desconocimiento no demostraron diferencias significativas.

7. CONCLUSIONES

El análisis de datos de esta investigación permitió llegar a las siguientes conclusiones:

1. Los resultados confirman la hipótesis inicial del proyecto: en general, la gente está claramente desinformada sobre los productos químicos que utiliza cada día en su casa o en el trabajo, especialmente en conceptos básicos pero técnicos, como los riesgos y la mala utilización de las mezclas que pueden llegar a ser peligrosas.
2. Existen diferencias claras según edad, nivel de estudios y ámbito de trabajo en cuanto al conocimiento del uso de los productos químicos: los adultos y personas con estudios universitarios demuestran un mayor conocimiento, mientras que los niños y los jóvenes presentan, lógicamente, más desconocimiento, que puede ser por falta de experiencia y relación con los productos químicos.

3. El género no supone una diferencia significativa en conocimientos químicos, aunque las mujeres muestran ligeramente mejores hábitos en consumo y reciclaje.
4. Los experimentos con productos cotidianos mejoran el aprendizaje, reducen las respuestas de "no sé" (y por lo tanto el desconocimiento) y corroboran la segunda hipótesis del proyecto.
5. El uso de recursos visuales y experimentales aumenta el interés y facilita la comprensión debido a la mejora general del porcentaje de aciertos.
6. Los conceptos químicos se retienen mejor cuando se vinculan a situaciones reales del día a día, como el uso de productos domésticos.
7. El proyecto demuestra la necesidad de reforzar la educación química práctica para fomentar un uso más seguro, responsable y consciente de los productos del hogar.

8. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A raíz de este proyecto, proponemos otras líneas de investigación interesantes que se relacionan con la divulgación de las ciencias y los productos químicos:

- Crear y diseñar un juego de mesa que relacione los productos químicos del hogar con su etiquetado, características, riesgos…, con el fin de enseñar de manera creativa y divertida esas cosas y, por tanto, influir en el uso de estas sustancias de manera positiva para disminuir los accidentes en casa por la ingesta, contacto con los ojos, contacto con la piel provocando quemaduras…, de dichos compuestos.
- En relación con los métodos de enseñanza didácticos, aplicar el uso de las nuevas tecnologías en el aprendizaje de la química (o de otras ciencias), ya que sin esta disciplina no se hubieran podido desarrollar dispositivos tan avanzados. Se puede emplear de varias formas como por ejemplo usando la realidad aumentada para diseñar un juego que los participantes utilicen de forma educativa. De esta manera se podría hacer un estudio comparativo entre la enseñanza experimental física y a través de la tecnología (algo más abstracto), enfocado al ámbito de las ciencias.
- Realizar una investigación que relacione la eficacia de distintos productos químicos de limpieza en una variedad de superficies, es decir, comparar las capacidades limpiadoras de diferentes sustancias en diversas superficies y determinar el producto más adecuado para su higienización.
- Transmitir conocimientos químicos o científicos a partir de una serie de clases prácticas (como experimentos) y otras teóricas para contrastar la eficacia entre el aprendizaje a partir de recursos visuales y la enseñanza en función de explicaciones lógicas pero sin elementos gráficos.
- Hacer un estudio comparativo entre limpiadores ecológicos (creados por la propia persona que desarrolle la investigación) y productos comerciales, analizando las propiedades químicas, la eficacia y la toxicidad (entre otras cosas) de cada uno.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2016). *ToxFAQs™ - Hidróxido de sodio (Sodium Hydroxide)*. ATSDR (.gov). Recuperado el 7 de agosto de 2025. https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts178.html
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2016). *ToxFAQs™ - Peróxido de Hidrógeno (Hydrogen Peroxide)*. ATSDR (.gov). Recuperado el 11 de agosto de 2025. https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts174.html
- Alonso Giner, M. (2011). *La Química en nuestra vida cotidiana*. Año Internacional de la Química 2011. https://fyqcar.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/11/la_quimica_en_nuestra_vida_cotidiana.pdf
- Arranz, N. y Arranz, L. I. (16 de diciembre de 2019). *Química en los alimentos*. Bio Eco Actual. Recuperado el 4 de diciembre de 2025. https://www.bioecoactual.com/2019/12/16/quimica-en-los-alimentos/
- Asimov, I. (1999). *Breve historia de la química: introducción a las ideas y conceptos de la química*. Alianza editorial. https://expedicionciencia.org.ar/wp-content/uploads/2019/03/Isaac-Asimov-Breve-Historia-de-la-Quimica.pdf
- Centro de Estudios Superiores de la Industria Farmacéutica. (6 de marzo de 2025). *Química y Biotecnología: Avances que están cambiando la medicina moderna*. CESIF. Recuperado el 3 de octubre de 2025. https://www.cesif.es/blog/avances-cientificos-en-quimica-y-biotecnologia
- Clínica Universidad de Navarra. (2023). *Acetona*. Clínica Universidad de Navarra. Recuperado el 7 de agosto de 2025. https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/acetona

- Committee on the Development of an Addendum to the National Science Education Standards on Scientific Inquiry, Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education, & National Research Council. (2000). Inquiry in Science and in Classroom. S. Olson & S. Loucks-Horsley, Eds. *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning* (pp. 1-12). National Academies Press.
- Consejo General de Colegios Oficiales de Químicos. (2021). *La química, clave en el desarrollo de medicamentos, un sector que permitió ganar más de 15 años de esperanza de vida en solo diez años*. Consejo General de Colegios Oficiales de Químicos. https://cgquimicos.com/la-quimica-clave-en-el-desarrollo-de-medicamentos-un-sector-que-permitio-ganar-mas-de-15-anos-de-esperanza-de-vida-en-solo-diez-anos/
- Damania, R., Sanchez-Triana, E., y Heister, J. (28 de septiembre de 2023). *Contaminación química: La próxima crisis mundial*. Blogs del Banco Mundial. Recuperado el 1 de diciembre de 2025. https://blogs.worldbank.org/es/voices/contaminacion-quimica-la-proxima-crisis-mundial
- Durán-Orta, M. (2022). Clasificación de la materia: Sustancias puras, elementos y compuestos; mezclas homogéneas y heterogéneas. *Con-Ciencia Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 3*, 9(18), 131-132. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa3/article/view/9509/9219
- Ecured. (s. f.). *Amoníaco*. EcuRed. Recuperado 13 de junio de 2025, de https://www.ecured.cu/Amon%C3%ADaco
- Etecé. (28 de julio de 2025). *Historia de la química*. Concepto. Recuperado el 23 de agosto de 2025. https://concepto.de/historia-de-la-quimica/
- Gámez Jareño, B. (28 de octubre de 2024). El vinagre de limpieza: Cómo se usa y diferencias con el vinagre blanco. *El País*. https://elpais.com/escaparate/estilo-de-vida/2024-10-28/el-vinagre-de-limpieza.html
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2013). *Documentación toxicológica para el establecimiento del límite de exposición profesional de la acetona*. INSST. Recuperado el 8 de agosto de 2025. https://www.insst.es/documents/94886/288927/DLEP05.pdf/023c448c-1efb-454e-8a3e-3e4d93e2ef34?version=1.0&t=1528396363827
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2013). *Documentación toxicológica para el establecimiento del límite de exposición profesional de etanol*. INSST. Recuperado el 6 de agosto de 2025. https://www.insst.es/documents/94886/289416/DLEP+79.+etanol.pdf/74a38a7e-e980-4d51-86b5-1e6dff885655?version=1.0&t=1528396142596
- International Labour Organization & World Health Organization. *(2024). ICSC 0087 - Acetona*. International Chemical Safety Cards. Recuperado el 18 de agosto de 2025. https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0087&p_version=2
- International Labour Organization & World Health Organization. (2013). *ICSC 0414 - Amoniaco (anhidro)*. International Chemical Safety Cards. Recuperado el 25 de agosto de 2025. https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0414&p_version=2
- International Labour Organization & World Health Organization. (2010). *ICSC 0363 - Ácido acético*. International Chemical Safety Cards. Recuperado el 19 de agosto de 2025. https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0363&p_version=2
- International Labour Organization & World Health Organization. (2010). *ICSC 0360 - Hidróxido de sodio*. International Chemical Safety Cards. Recuperado el 25 de agosto de 2025. https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0360&p_version=2
- International Labour Organization & World Health Organization. (2017). *ICSC 0482 - Hipoclorito de sodio (disolución, cloro activo <10%)*. International Chemical Safety Cards. Recuperado el 18 de agosto de 2025. https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0482&p_version=2
- International Labour Organization & World Health Organization. (2009). *ICSC 1744 - Percarbonato de sodio*. International Chemical Safety Cards. Recuperado el 25 de agosto de 2025. https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=1744&p_version=2
- International Labour Organization & World Health Organization. (2018). *ICSC 0164 - Peróxido de hidrógeno (disolución acuosa > 60%)*. International Chemical Safety Cards. Recuperado el 11 de agosto de 2025. https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0164&p_version=2&p_lang=es
- Isquisa. (s. f.). *Hojas de Datos de Seguridad Hidróxido de Amonio*. ISQUISA. Recuperado el 17 de junio de 2025. https://isquisa.com/assets/files/HDSLISTOS/HIDROXIDOS/HDS-Hidr%C3%B3xido%20de%20Amonio..pdf
- Lerochem. (s. f.). *Peróxido de hidrógeno ~35%*, L. Lerochem. Recuperado el 11 de agosto de 2025. https://lerochem.eu/es/pagrindinis/155-peroxido-de-hidrogeno-35-l.html?srsltid=AfmBOoqg5Pp-L6qojR3skOxXdEB1e29TVbS3V1mkw6vdaM9ou2jsS51M
- Mallart, J. (2001). Didáctica: concepto, objeto y finalidades. *Didáctica para psicopedagogos* (pp. 23-57). Madrid: Uned. file:///C:/Users/User/Downloads/Mallart2001DdidcticaConceptoobjetoyfinalidades%20(1).pdf

- Marín, N. (2003). Visión constructivista dinámica para la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*. Número Extra, 43-55. https://nmarin.com/wp-content/uploads/2019/07/O23-03-VisionConstructivistaOrganica-CO.pdf
- Mendoza, C. C. (2004). La pedagogía como ciencia: notas para un debate. *Investigación y Postgrado*, 19(2), 229-240. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-00872004000200011#:~:text=Ello%20equivale%20a%20sostener%20que,bajo%20una%20perspectiva%20de%20complementariedad.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). *Los químicos que nos rodean*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/los_quimicos_que_nos_rodean_web_tcm30-535678.pdf
- Moreno, L. (2015). Evolución histórica de la química y su utilidad didáctica. *Anales de Química*, 111(4), 230-238. file:///C:/Users/User/Downloads/Fidelis,+La+evoluci%C3%B3n+hist%C3%B3rica+de+la+qu%C3%ADmica+y+su+utilidad+did%C3%A1ctica.pdf
- NASA. (21 de marzo de 2024). *¿El agujero de ozono está causando el cambio climático?*. NASA en español. Recuperado el 2 de diciembre de 2025. https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/preguntas-frecuentes/el-agujero-de-ozono-esta-causando-el-cambio-climatico/
- New Jersey Department of Health. (2016). *Hoja informativa sobre sustancias peligrosas: Peróxido de hidrógeno (Hydrogen peroxide)*. Department of Health for the State of New Jersey .Recuperado el 11 de agosto de 2025. https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1015sp.pdf
- Núñez Rojas, A. C. y Tobón, S. (2006). Pedagogía y didáctica de las ciencias: el problema de los escenarios de aprendizaje. *Revista Académica e Institucional de la UCPR*, (75), 21-30.
- Oregon Chem Group Spa. (s. f.). *Percarbonato de Sodio*. Oregon Chem Group Spa. Recuperado el 14 de agosto de 2025. https://oregonchem.com/files-oregon/uploads/ft/9ad131c763a41fc1eae6681ac7ab352c.pdf
- Ortiz Romero, P. L. (12 de septiembre de 2019). *El sudor: Qué es y por qué se produce*. Unidad Médica. Recuperado el 10 de diciembre de 2025. https://www.unidadmedica.com/blog/sudor-que-es-porque-se-produce/
- Parlamento Europeo. (22 de noviembre de 2018). *Microplásticos, causas, efectos y soluciones*. European Parliament. https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20181116STO19217/microplasticos-causas-efectos-y-soluciones
- PCC Group. (2021). *Química de los medicamentos: en la vanguardia de la química y la farmacología*. Portal Produktowy Grupy PCC. https://www.products.pcc.eu/es/blog/quimica-de-los-medicamentos-en-la-vanguardia-de-la-quimica-y-la-farmacologia/
- Pozas, A., Martín, R., Rodríguez, Á. y Ruiz A. (2009). *Química 2º bachillerato*. McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- Química. (s. f.). *Acetona*. quimica.es. Recuperado el 7 de agosto de 2025. https://www.quimica.es/enciclopedia/Acetona.html#google_vignette
- Química. (s. f.). *Ácido acético*. quimica.es. Recuperado el 15 de agosto de 2025. https://www.quimica.es/enciclopedia/%C3%81cido_ac%C3%A9tico.html
- Química. (s. f.). *Hipoclorito de sodio*. quimica.es. Recuperado el 5 de agosto de 2025. https://www.quimica.es/enciclopedia/Hipoclorito_de_sodio.html
- Química. (s. f.). *Paracetamol*. quimica.es. Recuperado el 10 de diciembre de 2025. https://www.quimica.es/enciclopedia/Paracetamol.html
- Química. (s. f.). *Peróxido de hidrógeno*. quimica.es. Recuperado el 11 de agosto de 2025. https://www.quimica.es/enciclopedia/Per%C3%B3xido_de_hidr%C3%B3geno.html
- Química Industrial Argentina. (s. f.). *Hipoclorito de sodio 10%*. Química Industrial Argentina. Recuperado el 18 de agosto de 2025. https://quimicaindustrial.com.ar/producto/hipoclorito-de-sodio-11/
- Química Industrial Chile. (2020). *El alcohol etílico, componentes, usos y aplicaciones*. Química Industrial. Recuperado el 5 de agosto es 2025. https://quimicaindustrial.cl/el-alcohol-etilico-componentes-usos-y-aplicaciones/
- Química Industrial Honduras. (s. f.). *Hidróxido de Sodio*. Química Industrial. Recuperado el 7 de junio de 2025. https://quimicaindustrial.hn/producto/hidroxido-de-sodio/
- Quiroz-Tuarez, S. y Zambrano Montes, L. C. (2021). La experimentación en las ciencias naturales para el desarrollo de aprendizajes significativos. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 5(9), 2-15. https://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/147/249
- Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. (2008). *Hoja de seguridad XII: Etanol*. Facultad de Química. Recuperado el 5 de agosto de 2025. https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2008/05/12etanol.pdf
- Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. (2008). *Hoja de seguridad IV: Acetona*. Facultad de Química. Recuperado el 7 de agosto de 2025. https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2008/05/4acetona.pdf

- Vadequímica. (24 de agosto de 2022). *Percarbonato de sodio: Definición, ventajas y usos*. Vadequímica. Recuperado el 14 de agosto de 2025. https://www.vadequimica.com/blog/todos-los-articulos/percarbonato-de-sodio-definicion-ventajas-y-usos.html?srsltid=AfmBOoprYMRJi9WjPOve-HzX-SoDvWwutiKjM85FxjGNepDAv8dfOFGtw
- Vílchez González, J. M., Morales Cas, A. M. y Villalobos Galdeano J. G. (2023). *Física y Química, 2 ESO, Operación mundo*. ANAYA.
- Wilkler. (2017). *Hoja de datos de seguridad (NCH 2245. Of 2015): Ácido acético 10%*. Winkler Ltda. Recuperado el 19 de agosto de 2025. https://winklerltda.cl/quimicav2/wp-content/uploads/2022/08/ACIDO-ACETICO-10.pdf

10. ANEXOS

https://docs.google.com/document/d/1K0dvYPXFJaW3wB9G-fRY4hbJtaFiWqLbJ3DFn-70GciY/edit?usp=drive_link.

MÁS ALLÁ DEL SABOR

La influencia del neuromarketing en nuestras decisiones de compra

Alba Martín Solera

Tutor: Lola Moreno Frías

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer, en primer lugar, a mi tutora Lola, por su gran dedicación, interés y apoyo constante durante el desarrollo de este proyecto. Su orientación y su plena disponibilidad han sido una parte fundamental a lo largo de este proceso.

A mi familia, por estar ahí siempre que lo necesito y por apoyarme con infinita paciencia. Sin vuestro respaldo constante, este proyecto no hubiera sido posible.

También quiero dar las gracias a todas aquellas personas que han colaborado y participado de manera desinteresada y que han contribuido en el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....356
2. ABSTRACT.....356
3. INTRODUCCIÓN.....356
3.1. Justificación.....356
3.2. Hipótesis.....357
3.3. Objetivos.....357
4. MARCO TEÓRICO.....357
4.1. Introducción al neuromarketing.....357
4.1.1. Concepto y origen.....357
4.1.2. Tipos de neuromarketing.....358
4.1.3. ¿Es ético el neuromarketing?.....358
4.1.4. Técnicas de neuromarketing.....358
4.2. Funcionamiento del cerebro durante la toma de decisiones.....359
4.2.1. Tres cerebros en uno.....359
4.2.2. Los atajos de la mente: sesgos cognitivos.....360
4.2.3. El hemisferio que vende.....360
4.2.4. Estímulos que influyen en el cerebro primitivo.....360
4.3. Neuromarketing aplicado al diseño gráfico de envases.....361
4.3.1. La atención.....361
4.3.2. Envases y sabor: percepción cruzada.....362
4.3.3. Elementos visuales del diseño.....362
4.3.3.1. Colores.....362
4.3.3.2. Tipografías.....363
4.3.3.3. Formas gráficas.....364
4.3.4. Revisión de investigaciones aplicadas al diseño de envases.....364
5. METODOLOGÍA.....365
5.1. Diseño del estudio.....365
5.2. Participantes.....366
5.3. Instrumentos de evaluación.....366
5.3.1. Productos.....366
5.3.1.1. Diseño gráfico de envases.....367
5.3.2. Cuestionario.....370
5.4. Procedimiento.....370
6. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS.....371
7. RESULTADOS.....372
8. CONCLUSIONES.....377
9. LIMITACIONES Y POSIBLES MÁRGENES DE ERROR.....378
10. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....378
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....379
12. ANEXOS.....379

1. RESUMEN

El neuromarketing ha surgido como una nueva disciplina capaz de transformar y revolucionar las estrategias publicitarias y el mercado tal y como se conocen en la actualidad. Por ello, el presente proyecto se centró en ofrecer una mirada profunda hacia algunos de los principios fundamentales del neuromarketing, así como en llevar a cabo una investigación exhaustiva de hallazgos recientes provenientes de múltiples disciplinas, como la neurociencia y la psicología cognitiva, aplicables al diseño de envases. Con esta investigación, se quiso demostrar si el neuromarketing aplicado al diseño del envase de un producto aumentaba su percepción de calidad en comparación con ese mismo producto presentado en un envase neutro. Para ello, se diseñaron dos envases basados en dichos principios y otros dos con un diseño más estandarizado para los productos escogidos, teniendo en consideración elementos como el color, la tipografía, las formas y los resultados de otros estudios previos.

A continuación, se realizó una cata en la que los participantes probaron cada producto y respondieron acerca de éstos en un cuestionario sobre la calidad y otras características sensoriales relacionadas. Los resultados mostraron que los productos cuyo envase estaba basado en los principios de neuromarketing fueron significativamente mejor valorados que los neutros, siendo el atractivo del envase la característica más destacada, seguido de la percepción de calidad. Además, se observaron variaciones en las respuestas en función del sexo y la edad, aunque el efecto principal del neuromarketing se mantuvo constante en todos los participantes. Con los hallazgos anteriores, fue posible concluir que los estímulos del neuromarketing visual aumentan la percepción de calidad de un producto.

Palabras clave: neuromarketing, envases, calidad, diseño, percepción, influencia.

2. ABSTRACT

Neuromarketing has emerged as a new discipline capable of transforming and revolutionising advertising strategies and the market as they are currently known. For this reason, the present project focused on providing an in-depth overview of some of the fundamental principles of neuromarketing, as well as conducting an exhaustive investigation of recent findings from multiple disciplines, such as neuroscience and cognitive psychology, applicable to packaging design. This research aimed to determine whether applying neuromarketing principles to a product's packaging increased its perceived quality compared to the same product presented in a neutral package. To this end, two packages based on these principles and two others with a more standardised design were created for the selected products, taking into account elements such as colour, typography, shapes and findings from previous studies.

A tasting session was then conducted in which participants sampled each product and completed a questionnaire regarding quality and other related sensory characteristics. The results showed that products presented in neuromarketing-based packaging were rated significantly higher than those in neutral packaging, with the attractiveness of the package being the most prominent characteristic, followed by perceived quality. Additionally, variations were observed in the responses depending on sex and age, although the main effect of neuromarketing remained consistent across all participants. Based on these findings, it was possible to conclude that visual neuromarketing stimuli increase a product's perceived quality.

Keywords: neuromarketing, packaging, quality, design, perception, influence.

3. INTRODUCCIÓN

3.1. Justificación

En la actualidad, resulta complicado escapar de los miles de estímulos que nos rodean cuando vamos a comprar a los comercios y grandes superficies: la cálida y acogedora iluminación, el ritmo rápido o lento de la melodía que está sonando, el leve aroma al entrar, la disposición de las estanterías, el diseño de los envases de cada producto… Todos estos detalles no son fruto de la casualidad y a pesar de que en innumerables ocasiones pasan desapercibidos, la realidad es que tratan de intervenir en nuestros comportamientos y decisiones de compra.

Dicha influencia se estudia desde múltiples campos, como la neurociencia o la psicología cognitiva, y ha dado lugar a lo que hoy se conoce como neuromarketing. A través de sus principios, las empresas se nutren de él para

desarrollar estrategias comerciales más efectivas y lograr que los consumidores compren sus productos guiados por motivos inconscientes.

Resulta sorprendente que, siendo el neuromarketing un tema que influye de manera directa y constante en nuestras conductas de compra, se escuche hablar poco de él. Por esta razón, realizar esta investigación me pareció un aporte importante para la sociedad, ya que es una buena manera de arrojar luz sobre un tema novedoso a la par que desconocido. Este proyecto nace con la intención de comprobar si nosotros, los consumidores, vivimos en un mundo "libre" de elegir un producto, o si detrás de nuestras decisiones de compra se esconde una estrategia de neuromarketing, que busca modificar nuestras propias percepciones sobre lo que vemos a través del diseño de los envases en los que se nos presentan los productos.

3.2. Hipótesis

Ante un mismo tipo de producto, los consumidores perciben una mayor calidad en aquel cuyo envase está diseñado utilizando principios de neuromarketing.

3.3. Objetivos

Con la intención de demostrar la hipótesis propuesta, se establecieron una serie de objetivos:

Objetivo general:

- Comprobar si los principios de neuromarketing aplicados a diseños de envases hacen que los productos se perciban cómo de mayor calidad, aunque el contenido sea el mismo.

Objetivos específicos:

- Diseñar varios envases, poniendo en práctica conocimientos sobre el neuromarketing.
- Evaluar la efectividad de los principios de neuromarketing para incrementar el atractivo generado por un envase.
- Determinar si los diseños basados en neuromarketing modifican la percepción de sabor de los participantes, y provocan que los productos sean percibidos con sabores más agradables.
- Examinar si el uso de principios de neuromarketing en productos de consumo incrementan la cantidad dispuesta a pagar.
- Comparar las variaciones en la percepción en función de las características demográficas (edad y sexo) y la frecuencia de consumo de los participantes.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Introducción al neuromarketing

4.1.1. Concepto y origen

El término *neuromarketing* surgió por primera vez en 2002 cuando el profesor holandés Ale Smidts publicó un artículo llamado *Kijken in het brein (Mirando en el cerebro)* que se tradujo al inglés como *Looking into neuromarketing*. En su publicación, Smidts (2002, como se citó en Cenizo, 2022, p. 4) explica que el neuromarketing mide los procesos cerebrales con el objetivo de lograr una mejor comprensión del cliente y sus respuestas cerebrales ante estímulos de marketing.

A pesar de que en un inicio fuese definido como lo anterior, el neuromarketing puede entenderse desde diferentes perspectivas (Cenizo, 2022, p.4). A continuación, se exponen varias formas de comprender el neuromarketing según autores pioneros y reconocidos en esta disciplina:

Por un lado, los autores Malfitano Cayuela, Arteaga Requena, Romano y Scínica (2007) entienden el neuromarketing como un campo multidisciplinar que integra conocimientos y pensamientos recreados por la neurociencia, psicología y marketing, entre otras disciplinas. Según explican, el neuromarketing estudia cómo funciona la comunicación entre el vendedor y el cliente, quienes comparten ciertas necesidades en función de la interpretación de la realidad que cada uno construye (pp. 50, 51).

Por otro lado, Néstor Braidot (2011, p. 18) presenta el neuromarketing como "[...] una disciplina de avanzada, que investiga y estudia los procesos cerebrales que explican la conducta y la toma de decisiones de las personas en los campos de acción del marketing tradicional [...]",

Si bien algunos autores prefieren usar este término para hacer referencia a los análisis de marketing basados exclusivamente en escáneres cerebrales, otros prefieren ampliarlo también a tecnologías de biometría. Roger Dooley (2015, pp. 11-12), experto en neuromarketing, ofrece una definición más inclusiva: "El neuromarketing se ocupa de comprender cómo funciona el cerebro, con independencia de la ciencia que utilicemos, empleando esa información para mejorar tanto nuestro marketing como nuestros productos."

Ahora bien, la pregunta que se plantea es ¿cómo surgió el neuromarketing? Durante años, la economía intentó ex-

plicar el comportamiento humano mediante la racionalidad y conciencia de las personas. No obstante, había algo que escapaba de su alcance y que desviaba la atención hacia los procesos mentales de los consumidores (Baptista, León y Mora, 2010, p. 9).

Consciente de esta debilidad, el marketing decidió acudir a la neurociencia, cuyos grandes avances durante la "Década del cerebro" (1990), habían transformado por completo la manera de entender el pensamiento y la conducta humana: la mayoría de las decisiones no tenían una base fundamentada en lo racional y lo lógico, sino en procesos inconscientes. Esta unión entre neurociencia, marketing y otras disciplinas dio lugar al neuromarketing, que nació como un nuevo enfoque para analizar los comportamientos de los consumidores mediante la comprensión de los procesos mentales que guían sus acciones.

Con las herramientas proporcionadas por el neuromarketing, el marketing ya no se limita a simples análisis de ventas o inversiones publicitarias, sino que requiere adentrarse en la mente del consumidor para estudiar sus mecanismos internos e inconscientes (Baptista et al., 2010, pp. 9-11; Braidot, 2011, pp. 17, 19).

4.1.2. Tipos de neuromarketing

Dado que el cerebro procesa la información a través de diferentes sentidos y mecanismos cognitivos, se han desarrollado tres tipos de neuromarketing enfocados en un aspecto específico de la percepción y respuesta del consumidor (ELBS, 2025):

- **Visual:** Investiga cómo el aspecto visual de un producto o envase moldea las intenciones de compra y respuestas emocionales de los consumidores.
- **Auditivo:** Analiza la influencia de estímulos sonoros (como melodías pegadizas o tono de voz en anuncios) en la toma de decisiones.
- **Kinestésico:** Estudia las diferentes formas de seducir a los clientes por medio del olfato, gusto y tacto.

4.1.3. ¿Es ético el neuromarketing?

Pese a los beneficios que el neuromarketing ofrece a las empresas, su uso genera numerosas cuestiones éticas que siguen sujetas a debate (Mercadé, 2024). Por un lado, existe la preocupación de que esta disciplina se pueda utilizar para manipular la mente de los consumidores sin que estos sean conscientes. Además, crece la inquietud sobre cómo se podrían diseñar estrategias que exploten los sesgos cognitivos de las personas para beneficiar a las empresas (Mercadé, 2024).

Por otro lado, los defensores del neuromarketing argumentan que, al igual que el marketing tradicional, su ética depende de la forma e intención con la que se utilice, de modo que la herramienta en sí no determina lo ético (Dooley, 2022). También señalan que el neuromarketing no incide en todos los factores que influyen en la toma de decisiones por lo que cada cliente posee la libertad de decidir si realiza finalmente la compra o no (Mercadé, 2024).

4.1.4. Técnicas de neuromarketing

Los estudios de neuromarketing utilizan instrumentos técnicos que en su mayoría son usados en el ámbito médico. Mediante técnicas de neuroimagen y señales biométricas se pueden estudiar las reacciones cerebrales de los consumidores ante envases, precios, diseño de productos, etc. Estas herramientas suelen combinarse con aportes de psicología con el fin de entender por qué los consumidores perciben y compran de cierta manera (Bercea, 2012, p. 2; Braidot, 2011, pp. 96, 99, 100). Para una explicación detallada sobre el funcionamiento de dichas técnicas, acuda al anexo I.

A continuación, se presenta una tabla que sintetiza las mediciones y aplicaciones de cada una (Tabla 1).

TÉCNICA	MEDICIONES	USOS EN NEUROMARKETING
Resonancia Magnética Funcional (fMRI)	• Registra la actividad metabólica del cerebro • Codificación de la memoria • Percepción sensorial • Valencia de las emociones • Lealtad, preferencia y recuerdo de una marca	• Probar nuevos productos y campañas • Evaluar el diseño del embalaje • Predecir elecciones • Identificar necesidades • Estudiar impactos de precios
Electroencefalografía (EEG)	• Registra la actividad eléctrica del cerebro • Atención, compromiso y aburrimiento • Emoción experimentada y valencia emocional • Codificación de la memoria	• Probar y desarrollar anuncios • Evaluar nuevas campañas • Probar eslóganes • Identificar momentos clave de anuncios
Seguimiento ocular (ET)	• No registra la actividad cerebral • Fijaciones visuales, dilatación pupilar • Patrones del movimiento ocular • Excitación y atención	• Probar el diseño de envases • Filtros de información del consumidor • Distribución de los estantes (ubicación del producto)
Respuesta Galvánica de la piel (GSR)	• Activación fisiológica • La excitación emocional (no la valencia)	• Predecir el rendimiento del mercado • Evaluar la efectividad de anuncios y publicidad. • Prueba de productos y envases.

Tabla 1. Mediciones y usos de las técnicas más populares en neuromarketing. Fuente: Elaboración propia a partir de Bercea (2012) y Roldán González de las Cuevas (2020).

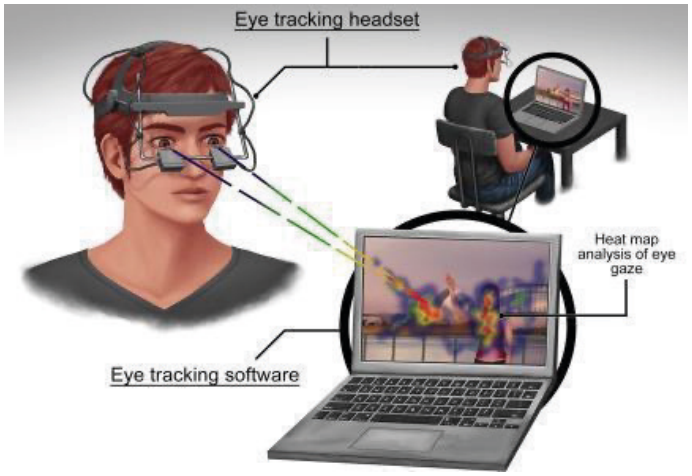


Figura 1. Ilustración sobre el funcionamiento del seguimiento ocular (ET). Fuente: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128130926000022

4.2. Funcionamiento del cerebro durante la toma de decisiones

4.2.1. Tres cerebros en uno

Durante la década de 1960, el neurocientífico Paul MacLean desarrolló un modelo de evolución del cerebro que recibió el nombre de "teoría del cerebro triuno". En ella, presentaba la existencia en los humanos de tres cerebros que trabajaban de manera conjunta: cerebro racional, cerebro emocional y cerebro primitivo (Figura 2) (Salmerón Riquelme, 2021, p. 14).

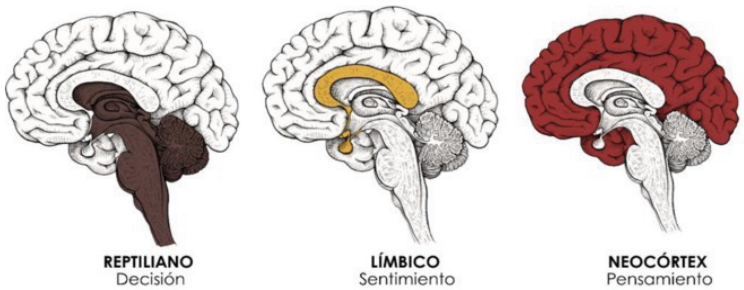


Figura 2. Cerebro triuno. Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Cerebro-triuno-por-Paul-MacLean-Fuente-propia_fig2_379476188

- **El cerebro racional (neocorteza):** Se trata de la parte evolutiva más reciente, y tiene una superficie de hasta 2,5 m2, formada por surcos y circunvoluciones. Se divide en cuatro lóbulos (parietal, frontal, occipital y temporal), cada uno con funciones específicas. Es la sede del pensamiento y las funciones cognitivas superiores, como razonamientos abstractos, resolución de problemas o el lenguaje (Braidot, 2011, pp. 31-32). Por esto, se le conoce como el "cerebro que piensa", que procesa la información y comparte sus deducciones con los otros dos cerebros (Renvoisé & Morin, 2006, p. 19).
- **El cerebro emocional (sistema límbico):** Se encuentra bajo la corteza cerebral, regula las emociones y la motivación, y desempeña un papel fundamental en procesos de aprendizaje, memoria, cognición, adicciones y estados de alerta. Está formado por la amígdala, el tálamo, el hipotálamo, el hipocampo y los ganglios basales (Salmerón Riquelme, 2021, pp. 16-17). Es el "cerebro que siente" (Renvoisé & Morin, 2006, p. 19).
- **El cerebro primitivo o reptiliano:** Está ubicado en la zona más baja y trasera del cráneo y consume el 90% de la energía total del cerebro a pesar de ser de menor tamaño en comparación con los anteriores. Es la región encargada de las acciones más básicas orientadas a la supervivencia, como el sueño, la homeostasis, el sistema hormonal y el control y ejecución del movimiento. El cerebro primitivo se mueve guiado por instintos, actuando de manera inconsciente y automática para asegurar la supervivencia. Lo componen el tronco encefálico, el cerebelo, los ganglios basales y el sistema reticular (Salmerón Riquelme, 2021, pp. 15-16). A pesar de ser el más antiguo de los tres, es el "cerebro decisor", él tiene la última palabra (Renvoisé & Morin, 2006, p. 19).

Con esta teoría es posible entender cómo interactúa la parte racional, emocional e instintiva de los humanos en la toma de decisiones. No obstante, las investigaciones en neurociencia han demostrado que las personas primero toman las decisiones de manera emocional, y luego tratan de justificarlas racionalmente (Renvoisé & Morin, 2006, p. 20). Tal y como indica el Dr. Joseph LeDoux (1986), esto ocurre debido a que la amígdala (parte del cerebro emocional) posee una mayor influencia sobre el córtex que a la inversa, permitiendo así que sea la parte emocional la que domina y controla la parte racional (como se citó en Renvoisé & Morin, 2006, p. 20).

4.2.2. Los atajos de la mente: sesgos cognitivos

La evolución que ha sufrido el cerebro primitivo para asegurar la supervivencia humana de manera automática y rápida, ha conllevado a la creación de atajos mentales que agilizan las tomas de decisiones. Estos atajos, reciben el nombre de heurísticas, y Haselton *et al*. (2009) (como se citó en Salmerón Riquelme, 2020, p. 28) las definen como "soluciones eficientes a problemas de juicio y elección cuando el tiempo, conocimiento y capacidades de procesamiento de la información están limitadas." Las heurísticas, a pesar de que en un principio sirven de ayuda, nos pueden hacen caer en trampas llamadas sesgos cognitivos, que son "errores que cometen inevitablemente todas las personas, de manera sistemática y en la misma dirección" (Matute, 2009, como se citó en Salmerón Manrique, p. 29). No cabe duda de que estos sesgos cognitivos, podrían ser "aprovechados" desde el neuromarketing como herramientas de persuasión para acercarse más a los clientes (Tabla 2) (Salmerón Riquelme, 2020, pp. 30-31).

SESGO	EXPLICACIÓN
SESGO DE ESCASEZ	Cuanta menos disponibilidad aparenta un producto, mayor exclusividad percibe el consumidor, lo que aumenta el deseo de poseerlo.
SESGO DE AUTORIDAD	Se percibe como más segura y fiable la información proveniente de expertos y celebridades.
EFECTO ARRASTRE	El ser humano tiende a dejarse llevar e imitar las acciones y decisiones de otros, sin tener en consideración las percepciones propias.
EFECTO HALO	A partir de la primera impresión de un producto o publicidad, se crean generalizaciones y juicios que pueden ser positivos o negativos.

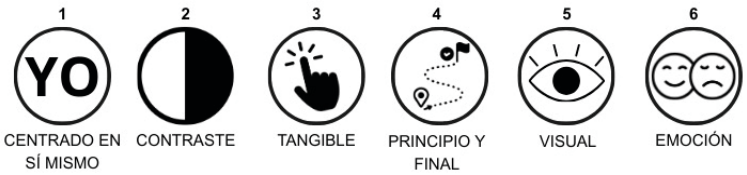
Tabla 2. Sesgos cognitivos más explotados desde el neuromarketing.
Fuente: Elaboración propia a partir de Salmerón Riquelme (2020).

4.2.3. El hemisferio que vende

El cerebro a su vez, se divide en dos hemisferios diferentes pero complementarios: el hemisferio izquierdo, que controla el lado derecho del cuerpo, se encarga del pensamiento lineal y de procesar la información de manera analítica, racional, secuencial y lógica; y el hemisferio derecho, que controla el lado izquierdo del cuerpo y se encarga del pensamiento creativo, imaginativo, intuitivo y holístico. El neuromarketing es capaz de detectar qué hemisferio controla a cada cliente para segmentar el mercado y modular los estímulos que les llegan (Braidot, 2011, pp. 33-35). A partir de esta premisa, puede inferirse que los envases usados en marcas blancas tienden al uso de colores más neutros, para evitar la activación del hemisferio derecho y que actúe exclusivamente la parte racional sobre el precio. En cambio, las grandes marcas presentan productos con diseños mucho más llamativos para la activación hemisférica derecha, y que sea la parte emocional quien gane poder en la decisión de compra.

4.2.4. Estímulos que influyen en el cerebro primitivo

Ahora que se sabe que el cerebro primitivo es el que toma las decisiones finales, el neuromarketing se pregunta: ¿cómo se puede acceder de manera sistemática a él? Además de procesar los resultados de los otros dos cerebros, este responde a seis estímulos específicos, los cuales, si se dominan, permiten influir directamente en las decisiones de compra. A continuación, se exponen las claves para influir en el cerebro decisor y diseñar estrategias más efectivas (Figura 3)



(Renvoisé & Morin, 2006, pp. 22-24, 28, 48, 72, 102, 121):

Figura 3. Seis claves para llegar al cerebro primitivo.
Fuente: Elaboración propia a partir de Renvoisé & Morin (2006).

1. El cerebro primitivo sólo se interesa por su propia supervivencia y bienestar. Por ello, se centra en las soluciones que alivien su necesidad o deseo. Es egoísta, no le preocupa el producto en sí, le preocupa lo que este puede hacer por él.
2. Es sensible a los contrastes, que le permiten tomar decisiones rápidas con escasa premeditación. Sin contraste, puede entrar en un estado de confusión, retrasar la decisión o incluso no decidir. El producto debe mostrar en qué se diferencia de la competencia y qué lo convierte en la solución única para satisfacer sus necesidades.
3. Necesita información tangible y busca lo que le resulta familiar, amigable y reconocible. Por eso, es recomendable que la información que se dé sobre un producto sea lo más corta y simple posible, y que aporte pruebas de por qué dicho producto será útil para el cliente.

4. Se acuerda de todo lo que está u ocurre al principio y al final [1], y se olvida casi por completo de lo que se encuentra en medio. Debido a esto, es clave captar la atención y crear una fuerte impresión cuanto antes para evitar perder la atención del consumidor para siempre.
5. Dado que la conexión física entre el cerebro primitivo y el nervio óptico es veinticinco veces más rápida que con el nervio auditivo, se puede establecer que es el canal visual el que ofrece una conexión efectiva con el verdadero decisor.
6. El cerebro primitivo se altera con las emociones ya que estas crean enlaces químicos que impactan en los pensamientos y la memoria. Sólo recuerda información a corto plazo si va ligada a lo que los investigadores llaman un "cóctel emocional", que es el resultado del procesamiento químico de las emociones en el cerebro. "Sin emoción, no hay decisión".

4.3. Neuromarketing aplicado al diseño gráfico de envases

En la actualidad, destacar entre la competencia, es uno de los objetivos más importantes para las marcas, y el diseño del envase de un producto es fundamental para ello. Al seleccionar cuidadosamente elementos como la tipografía, el color o las formas, se puede influir significativamente en el comportamiento de compra del consumidor. El diseño del envase es la carta de presentación de la marca, que conecta con un lenguaje visual con el consumidor para seducirlo (Budiardjo, 2016, p. 83). Por esta razón, las marcas ya no se limitarán a crear simples imágenes comerciales, ahora buscarán adentrarse en el subconsciente de los consumidores mediante el envase para conectar con sus emociones y sensaciones y proyectar en ellos una imagen de confianza y seguridad (Changuán & Simbaña, 2022, p. 14).

4.3.1. La atención

El cerebro, para impedir su saturación ante todos los estímulos a los que está expuesto, decide llevar a cabo una selección en la percepción de dichos estímulos mediante la aplicación de varios filtros que, a su vez, dependen de factores externos e internos (Vera, 2010, p. 159). Para conocer qué estímulos captan más la atención en diseños de envases, es crucial entender cuáles son los determinantes de la atención (tabla 3).

Determinantes externos: proceden del entorno.	**Determinantes internos:** Proceden y dependen de cada individuo.
• **Intensidad:** cuanto más intenso y potente sea el estímulo, más probabilidad existe de que se le preste atención. • **Movimiento:** destaca más que elementos estáticos. • **Tamaño:** cuanto mayor sea el estímulo, más atención se capta. • **Contraste:** lo que destaca entre un conjunto llama más la atención. • **Novedad:** estímulos visuales nuevos o inusuales atraen en mayor medida.	• **Intereses:** se dirigen a lo que resulta de mayor necesidad para la persona. • **Emoción:** estímulos que evocan emociones captan la atención. Si la emoción es positiva, facilita el focalizar los recursos atencionales. • **Estado orgánico:** dependen del estado físico de la persona, nivel de cansancio o si presenta estados relacionados con la supervivencia (sed, hambre...).

Tabla 3. Factores que determinan la atención ante un estímulo publicitario. Fuente: Elaboración propia a partir de Bitbrain (2018).

Por otro lado, esta selección que realiza el cerebro en la atención, también depende del impacto visual o primera impresión que un envase pueda generar (Vera, 2010, p. 158). De acuerdo con la cuarta clave para influir en el cerebro primitivo (principio y final), es de vital importancia dar una buena primera impresión pues si este ha finalizado un primer juicio, resulta casi imposible hacer que este cambie de opinión (Renvoisé & Morin, 2006, p. 74). Con el fin de generar ese impacto inicial positivo que acapare toda la atención, es necesario elaborar una sorpresa visual (Vera, 2010, p. 156) teniendo en cuenta los determinantes de la atención y una combinación adecuada de determinados elementos visuales en el diseño del envase de un producto.

Por esta razón, diseñar un producto atractivo capaz de captar la atención es de los objetivos principales para el neuromarketing, que ha buscado examinar los efectos que esto tiene a nivel cerebral. Un estudio realizado por Sin *et al*. (2024) mediante la fMRI examinó qué áreas cerebrales se activaban en las personas cuando se les mostraban imágenes de productos muy atractivos y productos poco atractivos. Los hallazgos evidenciaron una activación de las zonas relacionadas con el procesamiento de emociones y la evaluación de recompensas cuando los participantes se exponían a productos de gran atractivo. En especial, la amígdala, el putamen, el polo temporal y la corteza prefrontal dorsolateral. Con estos resulta-

1 En psicología este fenómeno recibe el nombre de principio de primacía y de recencia.

dos se confirma que los productos de gran atractivo, además de acaparar toda la atención, provocan una fuerte respuesta emocional e involucran áreas implicadas en funciones cognitivas y anticipación de recompensas (Sin *et al*., 2024).

4.3.2. Envases y sabor: percepción cruzada

Si bien un envase no puede alterar objetivamente el sabor real de los alimentos que contiene, ¿cómo es posible que pueda tener tanto impacto en las percepciones? Para responder esta pregunta, es necesario entender que, cuando se desarrolla un producto, el sabor no es lo único a tener en cuenta. El gusto tiene que considerarse una experiencia en la que todos los sentidos desempeñan un papel crucial (Quispel, 2022). Esto es lo que se conoce como "percepción cruzada" y se refiere a la manera en la que un sentido influye en otro y modifica la percepción de un producto. A diferencia de la idea tradicional de que cada sentido trabaja de manera independiente, se ha demostrado que están conectados y se afectan mutuamente (Mercado, 2025). En otras palabras, la percepción cruzada establece que una experiencia sensorial en una modalidad suele asociarse con otra experiencia sensorial en otra. Este hecho explicaría por qué la vista puede asociarse con el gusto, y hacer que lo que se ve influya en lo que se saborea (Quispel, 2022).

La percepción cruzada es muy relevante para el neuromarketing ya que, al comprender cómo los sentidos interactúan entre sí, las empresas pueden diseñar experiencias multisensoriales que alteren las sensaciones de los consumidores sobre los productos y despierten emociones en los clientes (Mercado, 2025).

4.3.3. Elementos visuales del diseño

4.3.3.1. Colores

El color no es una herramienta más de decoración, es una de las formas más persuasivas y efectivas de acercarse a los clientes y conectar con sus emociones. Por ello, al diseñar un envase de un producto, no se trata solo de elegir colores al azar, sino de escoger uno de acuerdo con las sensaciones y emociones que se busca que el consumidor sienta al visualizar por primera vez dicho producto. Con una correcta elección, se puede conseguir que un producto permanezca en la memoria de los clientes a largo plazo y se cree un mensaje determinado en sus mentes (Changuán & Simbaña, 2022, p. 15).

Asimismo, el color posee la capacidad de expresar palabras mediante significados visuales, por lo que, en cualquier envase es de los elementos visuales que más se van a percibir, ya que genera una atmósfera que condiciona la impresión global del producto (Vera, 2010, p. 163).

A pesar de que desde cada cultura se dan diferentes interpretaciones de los colores (Changuán & Simbaña, 2022, p. 13), varios estudios han demostrado la existencia de efectos comunes, como el aumento de la activación fisiológica o cambios en el estado emocional. En la tabla 4 se ofrece un resumen de las asociaciones emocionales y psicológicas de los principales colores junto con los efectos fisiológicos que desencadenan.

COLOR	EFECTOS FISIOLÓGICOS EN EL CONSUMIDORES	ASOCIACIONES EMOCIONALES Y PSICOLÓGICAS
ROJO	• Eleva la frecuencia cardíaca y aumenta la tensión muscular. • Posee propiedades excitantes y estimulantes: incita a tomar decisiones rápidas y estimula el apetito. • Color que impacta con mayor violencia en la retina, captando rápidamente la atención.	• Energía, pasión, acción, urgencia, ira, furia, coraje, cólera, violencia. • Estos estados mentales y emociones facilitan decisiones de compra motivadas por la emoción. • En exceso puede aumentar los niveles de estrés e irritabilidad.
AMARILLO	• Eleva la frecuencia cardíaca. • Al igual que el rojo, posee propiedades excitantes y estimulantes: fomenta la acción y el movimiento y estimula el apetito. • Induce a un estado positivo, promoviendo la segregación de serotonina en el cerebro.	• Felicidad, alegría, enérgico, animado, diversión, calidez, positivismo, creatividad. • En exceso, puede provocar emociones negativas como envidia y celos.
AZUL	• Disminuye la frecuencia cardíaca. • Suprime el apetito. • Reduce la tensión muscular y la tensión nerviosa. • Al estimular los conos SWS (menos abundantes en la retina), su uso en exceso puede causar fatiga ocular.	• Calma, frescura, tranquilidad, transparencia, ligereza, confianza, paz. • Induce a un estado positivo. • Favorece la concentración al determinar el foco de atención.
VERDE	• La retina lo recepciona y retiene mejor. • Regula la frecuencia cardíaca. • Afecta al sistema nervioso. • Como los conos MWS son más abundantes que los SWS, se puede percibir con mayor nitidez y sin fatiga visual.	• Salud, relajación, naturaleza, dinero, vida, armonía, seguridad. • Induce a la paciencia y relaja la mente.
NARANJA	• Tiene un efecto estimulante, por lo que acelera la frecuencia cardíaca. • Al igual que el rojo, despierta el apetito. • Se cree que aumenta los niveles de oxígeno en el cerebro, que favorece la actividad mental.	• Diversión, jovialidad, urgencia energía, calidez, espontaneidad, entusiasmo.
BLANCO	• Neutralidad fisiológica. • Es el reflejo de todos los colores del espectro, provocando una mayor estimulación visual y fatiga ocular. • Rechaza el calor, contribuye a la sensación de frescura.	• Pureza, simplicidad, limpieza, pulcritud, inocencia, sinceridad, perfección, paz. • Facilita la percepción clara de la información en el consumidor.
NEGRO	• Absorbe todos los colores del espectro, lo que causa una menor estimulación visual, menor fatiga ocular. • Aumenta el contraste con tonos claros, clave para conseguir impacto. • Puede generar respuestas fisiológicas de alerta y tensión.	• Riqueza, poder, elegancia, control, misterio, lujo, formalidad.

Tabla 4. Efectos fisiológicos y asociaciones del color según el neuromarketing. Fuente: Elaboración propia a partir de Al-Ayash et al. (2015), Kaya & Epps (2004), Malfitano Cayuela et al. (2007) y Rodriguez (2019).

4.3.3.2. Tipografías

La tipografía, a menudo subestimada, es uno de los elementos más poderosos en los diseños de envases. Cada fuente provoca un impacto psicológico único, influyendo en la manera en la que los consumidores procesan e interiorizan la información de un producto. Detrás de cada elección tipográfica se esconde una base psicológica que se vincula a cómo el cerebro procesa los estímulos visuales y crea conexiones emocionales que moldean el comportamiento de compra. Todo ello, no solo influye de manera subconsciente en la percepción de un producto, sino que también genera respuestas emocionales específicas (Dool Agency, 2025), como se muestran en la tabla 5.

TIPOGRAFÍA	CARACTERÍSTICAS	ASOCIACIÓN PSICOLÓGICA/EMOCIONAL	EJEMPLOS CONOCIDOS
Sin serifa (Sans Serif)	• Sin remates. • Sin contraste entre trazos. • Líneas limpias • Vértices rectos.	• Modernidad, innovación, simplicidad, claridad, minimalismo, transparencia, facilidad, dinamismo. • Evocan la sensación de apertura y vanguardia, por lo que atrae a un público más joven y progresista.	Franklin GothicArial, Helvetica, Futura, Avant-Garde Gothic y Calibri.
Con serifa (Serif)	• Trazos tradicionales y elegantes. • Con pequeños remates que adornan los finales de los rasgos principales de los caracteres.	• Sofisticación, formalidad, confianza, tradición, autoridad, seriedad, refinamiento, institucionalidad, fiabilidad.	Garamond, Times New Roman, Libre Baskerville, Clarendon, Courier, Excelsior, Rockwell, Didot, Bodoni
Manuscritas (Script)	• Imitan la escritura manual. • Trazos finos y letras unidas unas con otras	• Fragilidad, afecto, cercanía, elegancia, sofisticación, calidez, personalidad.	Kunstler Script, Lucida Calligraphy, Vivaldi, Mistral, Rage Italic y Vladimir Script

Tabla 5. Asociaciones y características de las principales tipografías. Fuente: Elaboración propia a partir de Dool Agency (2025) y Universidad Europea (2024)



Figura 4. Diferencias entre tipografías sin serifa, con serifa y script. Fuente: Adaptado de https://www.spi-des-ign.co.uk/news/what-is-the-difference-between-serif-sans-serif-and-script-fonts/

Más allá de estas asociaciones psicológicas y emocionales, varias investigaciones de neuromarketing han demostrado la influencia de las tipografías en procesos cognitivos como la atención y la comprensión. En un estudio realizado con ET, se midieron los patrones de los movimientos oculares de los participantes cuando se exponían a textos de diferentes tipografías. Se encontró que las fuentes sin serifa facilitaban una lectura más rápida y precisa que las tipografías con serifa (Dogusoy, Cicek & Cagiltay, 2016).

A su vez, las tipografías se pueden clasificar según tengan formas puntiagudas y angulares (p. ej. Verdana, Arial Nova, Sans Forgetica, Nogomet) o formas curvas y redondas (p. ej. Fg-April Trial, Matilda, Times New Roman, Chaparral Pro). También con el ET, otro estudio observó como el tamaño de la pupila, indicador de respuestas emocionales, había aumentado al leer tipografías redondas, indicando una mayor preferencia y sensación de agrado en la lectura hacia este estilo tipográfico. Además, las tipografías de forma redonda implican menos tiempo de lectura por carácter, lo que hace que el proceso de leer sea más rápido y fluido en comparación con las formas angulares y puntiagudas (Medved, Podlesek & Možina, 2023).

Ambos estudios son de gran interés para diseñar envases desde el neuromarketing, pues demuestran que, con una determinada elección tipográfica, además de afectar a las emociones, se puede condicionar la rapidez y claridad con la que los consumidores, quienes disponen de poco tiempo para procesar la información en puntos de venta, procesan el mensaje de las empresas.

Cabe destacar también que la tipografía afecta la fluidez cognitiva, es decir, la facilidad con la que el cerebro interpreta la información. Las fuentes legibles, simples y bien espaciadas, resultan de utilidad para la comprensión y retención del mensaje del envase, mientras que las fuentes demasiado decorativas, no se recomiendan en diseños de envases pues aumentan la carga cognitiva y provocan desinterés en el consumidor (Dool Agency, 2025).

Considerando tanto las asociaciones psicológicas y emocionales antes mencionadas, como los efectos que las diferentes tipografías tienen en los consumidores, las marcas pueden modificar el comportamiento de compra. Por ejemplo, si se combina una tipografía sin serifa, en mayúsculas y en negrita, se puede activar la urgencia en la mente del cliente e incitar a que este sienta inmediatez y realice compras impulsivas. Por otro lado, si se utiliza una tipografía delicada con serifa y un alto contraste, las marcas proyectan exclusividad y justifican sus precios elevados (Dool Agency, 2025).

4.3.3.3. Formas gráficas

Las formas en los diseños de envases tampoco se utilizan por casualidad. Un estudio que empleó la tecnología de la fMRI quiso investigar qué áreas cerebrales se activaban por formas circulares y angulares. Los resultados mostraron que las formas circulares habían provocado una mayor activación positiva en regiones como el giro fusiforme, el giro occipital inferior y el cerebelo VI, con una activación negativa mínima. Por el contrario, se encontró que las formas angulares habían generado una activación negativa predominante en las zonas del giro occipital medio, el cúneo y el giro lingual. El hecho de que las formas circulares provocaran una activación positiva mayor, indica que el cerebro dedica más recursos para procesarlas, lo que facilita su reconocimiento frente a otro tipo de forma. En cambio, la activación negativa predominante de las formas angulares implica un procesamiento cerebral menor, haciendo que el reconocimiento de este tipo de forma sea más lento y requiera un mayor esfuerzo cognitivo. Lo anterior supone que las formas circulares en diseños gráficos son visualmente más salientes y que por ello, captan más la atención del cerebro en comparación con las angulares (Wei *et al*., 2023).

4.3.4. Revisión de investigaciones aplicadas al diseño de envases

En un estudio realizado por Yu, Droulers y Lacoste-Badie (2022) se investigó cómo la técnica del movimiento implícito afectaba a la percepción del producto y al comportamiento de compra. Por medio del ET, se midieron las fijaciones y la tasa de movimiento de los ojos de los participantes sobre productos con y sin elementos de movimiento en el diseño. A continuación, se les hicieron preguntas acerca de la calidad, sabor, frescura e intención de compra. Los resultados demostraron que los elementos de movimiento implícito en los diseños del envase además de atraer significativamente la atención en comparación con los elementos estáticos, aumentaban la intención de compra. También se encontró que esa mayor atracción visual hacia los productos con elementos dinámicos había provocado que los participantes percibieran dichos productos como más sabrosos y frescos.



Figura 5. Ejemplos de elementos de movimiento implícito en envases de productos. Fuente: Adaptado de Yu et al. (2022).

Otro estudio de neuromarketing llevado a cabo por Cuesta, Niño y Martínez (2018) quiso investigar el rol de ciertos elementos del envase en las decisiones de compra. Para ello, se diseñaron cuatro envases diferentes para un producto que contenía fruta. A los participantes se les mostraron todos los diseños, y mediante la técnica del ET combinada con la GSR y las expresiones faciales, los investigadores pudieron examinar hacia qué elementos se desviaba la mirada, el tiempo de fijación, las áreas de interés (en un mapa de calor) y los recorridos visuales. Los resultados revelaron que el producto más escogido por los participantes contenía elementos que proporcionaban una clara y rápida comprensión de su contenido: un símbolo de "100% fruta", una tipografía llamativa y el uso del color propio de la fruta ofrecida, que evocaba una sensación agradable relacionada con la frescura de dicho alimento (figura 6). Además, quedó demostrado que tanto una mayor actividad visual medida con ET, como las emociones positivas (registradas con expresiones faciales) pudieron predecir cuál sería la elección final de los participantes, lo que refuerza la importancia de que un envase se diferencie y sea capaz de generar emociones en los consumidores.



Figura 6. Mapa de calor generado por el diseño del producto más escogido. Fuente: Cuesta et al., 2018.

Tal y como Rocha (2023) explica, la empresa Lay´s realizó un gran hallazgo con técnicas de neuromarketing acerca de los colores de los diseños y la culpabilidad. Se descubrió que los tonos más brillantes y vivos en los paquetes de patatas despertaban emociones de exceso y activaban áreas cerebrales relacionadas con el sentimiento de culpabilidad en los consumidores. A partir de lo anterior, se pudo revelar que el uso de colores pasteles y más suaves provocaban un efecto contrario en los consumidores, disminuían la culpa y simbolizaban ingredientes más naturales y saludables. Al rediseñar sus envases, Lay´s logró transmitir una imagen de sus productos más equilibrada y sana, que permitió captar la atención de clientes que buscaban alternativas más saludables sin sacrificar el sabor. Al utilizar los colores de manera estratégica en el packaging, Lay´s consiguió aumentar exponencialmente sus ventas.

En relación con la percepción cruzada o correspondencia intermodal, se llevó a cabo otro estudio por Baptista, Spence, Shimizu, Ferreira y Behrens (2022). En esta ocasión, se quería evaluar el efecto de varios elementos visuales del producto (tanto del diseño, como del producto en sí) en las expectativas gustativas. Para ello, se seleccionó el chocolate y cuatro variantes del mismo: el color (negro/rosa), la tipografía (redondeada/angular), la imagen del diseño (chocolate/leche) y la forma del chocolate (curvo/recto). Se mostraron varios pares de paquetes de chocolate con diferentes combinaciones de estos elementos visuales. De entre ellos, los participantes debían elegir su preferido, cuál creían que era más cremoso y cuál les parecía más dulce. Se encontró que tanto el color como la tipografía del diseño del envase del chocolate habían tenido una influencia significativa en las expectativas sobre el sabor. Los participantes esperaban que el chocolate presentado en color rosa tuviera un sabor más dulce que el que se presentaba en color negro. Además, se encontró que el diseño que incluía tipografías redondas había sido mayoritariamente preferido en comparación con los diseños que habían utilizado tipografías angulares. Por otro lado, el chocolate que se había presentado con formas rectas se percibió como menos dulce y cremoso que el presentado en formas curvas.



Figura 7. Diseños de chocolates con las características mostradas en el estudio.Fuente: Baptista et al. (2022)

Algo similar estudiaron Veflen, Velasco y Kraggerud (2022), quienes quisieron averiguar qué impacto tenían diferentes formas y colores en las expectativas de sabor, en este caso, del queso. Primero, los participantes tuvieron que probar 11 quesos distintos para después asociar sus sabores a ciertos elementos visuales. A continuación, los participantes, sin probar el queso, evaluaron 36 diseños donde variaban en forma y color, para descubrir cuáles eran sus expectativas del producto basándose únicamente en el aspecto visual. Tras analizar los resultados, se llegó a la conclusión de que la combinación de formas angulares con colores de baja luminosidad (oscuros) y alta saturación habían generado una expectativa de sabor más intenso, en tanto que las formas angulares y los colores más brillantes y con menos saturación habían sido vinculados con sabores más suaves.

5. METODOLOGÍA

5.1. Diseño del estudio

Antes de llevar a cabo la fase experimental, primero fue necesario investigar en profundidad acerca del neuromarketing y sus estrategias más efectivas, así como sobre el funcionamiento del cerebro. Se consultaron libros de autores reconocidos en la disciplina, artículos académicos y webs especializadas. Además, se revisaron numerosos estudios científicos que habían usado técnicas de neuromarketing para después seleccionar los más útiles y relevantes para aplicarse en la experimentación.

Con este trabajo se buscó evaluar si el neuromarketing influye tanto en el consumidor hasta el punto de que, incluso probando el mismo producto presentado de dos formas diferentes, puede cambiar la percepción sobre la calidad

del mismo. En otras palabras, se quiso comprobar si el consumidor llega a pensar que ha probado dos productos de diferente calidad y contenido, porque se presentan con diferente envase.

Para ello, se desarrolló y ejecutó un estudio experimental en el que se manipuló la variable independiente del estudio, es decir, los diseños de envases. Se diseñaron dos versiones diferentes para cada producto:

- **Versión A:** Diseño basado en principios y técnicas de neuromarketing orientado a resultar de gran atractivo para los consumidores.
- **Versión B:** Diseño neutro y simple, asociado a las marcas blancas.

Una vez se crearon los diseños del envase de cada producto seleccionado, éstos se presentaron en una cata controlada, donde los participantes respondieron un cuestionario relacionado con los alimentos que habían probado. Dichas preguntas, se usaron a modo de herramientas de medición de las percepciones de calidad, el atractivo y la percepción del sabor, que son algunas de las variables dependientes del presente trabajo.

5.2. Participantes

Uno de los objetivos específicos del trabajo era comprobar si el neuromarketing influía de la misma manera en las percepciones de cada uno de ellos, o si por el contrario, existían diferencias según los factores demográficos de las personas. Por esta razón, se decidió realizar el experimento con 90 personas y segmentar dicho número en función de la edad y sexo de los participantes.

Se dividió la muestra total en tres grupos de edad de 30 personas cada uno: **rango 1 (15-30 años), rango 2 (31-55 años) y rango 3 (56-75 años)**. Asimismo, la cantidad de mujeres y hombres se escogió para que fuera la misma, quedando así 15 mujeres y 15 hombres en cada grupo de edad (**45 personas de cada sexo** en total). Con la muestra de participantes diferenciada de esta forma, sería posible hacer análisis comparativos más equitativos entre los distintos grupos por edad y sexo, así como observar posibles variaciones en las respuestas ante el envase del neuromarketing.

Los participantes fueron escogidos considerando su edad y sexo de manera no aleatoria, ya que también se aplicaron criterios de exclusión como:

- Conocimiento previo sobre el funcionamiento de la experimentación, para evitar sesgos y respuestas condicionadas.
- Alergias o intolerancias a los productos que se iban a incluir en la cata.
- Daltonismo, pues podría alterar la percepción de los colores de los diseños presentados.
- Enfermedades que afectan a la percepción del sabor (como resfriados, gripes, COVID-19, ageusias, etc.).

5.3. Instrumentos de evaluación

5.3.1. Productos

Los participantes debían evaluar la muestra basándose exclusivamente en sus percepciones. Por eso, se tuvieron en cuenta tres aspectos para elegir los productos idóneos para la fase experimental.

Por un lado, se descartaron aquellos productos que estuvieran asociados con marcas muy reconocidas o que fueran propios de una en concreto. Este debía ser lo suficientemente genérico para que los participantes no estuvieran condicionados por valoraciones previas y pudieran responder las preguntas guiados sólo por la influencia del diseño del envase, no por la marca asociada. Algunos ejemplos de productos que se excluyeron fueron galletas o snacks populares y refrescos de marcas muy reconocidas.

Por otro lado, tampoco se podían incluir productos cuyo sabor pudiera variar entre lotes o con el tiempo. Si esto ocurría, la validez de las conclusiones sacadas tras la experimentación estaría comprometida, ya que cualquier diferencia en la percepción del sabor podría deberse a una variación real del producto y no al efecto del diseño de neuromarketing. Por este motivo, no se seleccionaron tampoco alimentos naturales como frutas, verduras o frutos secos.

Por último, dado que se buscaba que de primeras los participantes no percibieran que las dos versiones que estaba probando pertenecían al mismo producto, era imprescindible dar con uno cuyo contenido real se mantuviera constante, aunque sufriera leves cambios en el aspecto externo o de presentación.

Cumpliendo con lo anterior, se escogieron dos productos para la experimentación: el zumo de naranja y el chocolate. Para ambos casos se adquirieron productos completamente idénticos, con el objetivo de mantener constante el conte-

nido y evitar la influencia de variables externas. En el caso del zumo de naranja, se compraron bricks iguales que contenían el mismo zumo, los cuales se utilizaron como modelos sobre los que se adhirieron posteriormente los diseños impresos (con y sin neuromarketing).

Se adquirieron cajas de bombones idénticas, que al igual que los bricks del zumo, sirvieron como molde para la aplicación de las carátulas del diseño.

Las tabletas de chocolate fueron fundidas para elaborar los bombones, lo que permitió obtener dos versiones de ese mismo chocolate que solo diferían en la forma: uno con forma circular y curva, alineado con un diseño basado en neuromarketing, y otro con formas angulares y rectas, asociado con un diseño neutro, pero sin ninguna variación en el sabor del producto (Veflen et al., 2022; Baptista *et al*., 2022; Wei *et al*., 2023).

Con el fin de aislar como única variable independiente el diseño de envases, se tuvieron que controlar minuciosamente el resto de factores que pudieran influir en las percepciones del producto. Aunque fue necesario modificar las formas de los bombones por los siguientes motivos: para que fuese más sencillo y cómodo de ofrecer en la cata, para que el envase en el que se colocase el diseño fuese más estable y rígido, y para que no pareciera el mismo producto de primeras, la realidad es que, la forma no iba orientada a influir de ninguna manera en las percepciones, sino más bien a reforzar el impacto visual generado por el diseño de envase. El resto de características de ambos productos se mantuvieron constantes. De este modo, los posibles cambios de percepción sólo podrían ser atribuidos al diseño.

5.3.1.1. Diseño gráfico de envases

Para diseñar las dos versiones de cada producto, se decidió utilizar Canva, una herramienta de diseño gráfico digital. Se consideró que, además de ser un programa accesible y fácil de usar, era muy completo, ya que proporcionaba elementos suficientes para hacer diseños gráficos.

Primero, se tomaron las medidas de los envases, y se trasladaron a Canva, donde se crearon las plantillas en tamaño real. Después, se procedió al diseño de cada versión, siendo como se ha dicho anteriormente la versión A, basada en principios de neuromarketing; y la versión B, más neutral y sencillo (figura 8).



Figura 8. Resultado final del embalaje con su diseño.
Fuente: elaboración propia.

Para una observación detallada de todos los diseños que se explicarán a continuación, acuda al anexo II.

- **Versión A** (Zumo de naranja basado en neuromarketing)
  Como color principal, se optó por un degradado naranja cálido (#DD7825) ya que es un color estimulante que despierta el apetito y se asocia psicológicamente con la cercanía y calidez. Además, se escogió dicha tonalidad porque al ser un tono mate y poco brillante, sigue los hallazgos de estudios que muestran cómo los colores no brillantes disminuyen la sensación de culpa al consumir un producto y proyectan una imagen más saludable (Rocha, 2023). También, se consideró el uso de este color al corresponder con el contenido real del producto, pues estudios demuestran como esto aumentaba la aceptación y preferencia del diseño por parte de los participantes (Cuesta *et al*., 2018).

  Asimismo, se añadió un texto de "sin azúcares añadidos" para proyectar una imagen saludable y aparentar ser un producto que busca el beneficio propio de los consumidores: que estos cuiden de sí mismos y de su alimentación (primera clave para influir en el cerebro primitivo) (Renvoisé & Morin, 2006).

  En esta ocasión, se decidieron usar tanto tipografías de formas redondas como tipografías modernas sin serifa. Ambas, resaltadas en negrita, para activar la sensación de urgencia en la mente e impulsar a tomar decisiones rápidas sin premeditación (Dool Agency, 2025). Para el texto principal, es decir, "naranja", se usó *Railey*, una tipografía script de forma redonda y curva, asociada psicológica y emocionalmente con lo sofisticado y la cercanía. Por el contrario, para el texto secundario ("zumo de") se aplicó la tipografía sin serifa *Hey Gotcha*. El motivo por el cual se decidió usar una tipografía script y de formas

curvas se debió a lo que varios estudios han demostrado que provocan una activación emocional positiva relacionada con la sensación de agrado y preferencia, y tienen un procesamiento más rápido en el cerebro (Medved *et al*., 2023). Como se buscaba que dentro de la jerarquía visual el protagonismo recayera sobre la tipografía *Railey*, se redujo significativamente el tamaño de la sans serif. Así, los efectos que pudiera provocar esta última, quedarían opacados, siendo la script la más influyente y visible.

Por otra parte, en la zona inferior se colocaron formas circulares de color marrón oscuro (#1B170A) dado que implican un menor esfuerzo cognitivo y destacan antes que las formas angulares (Wei *et al*., 2023). Además, el color escogido para ello genera un mayor contraste con el fondo, que es uno de los determinantes y estímulos que captan la atención del cerebro primitivo (Renvoisé & Morin, 2006). En la esquina superior derecha se colocó un logo de "100% fruta", también de formas curvas, basado de igual manera en estudios sobre las preferencias en los envases (Cuesta *et al*., 2018). Esto también refuerza lo comentado anteriormente acerca de aparentar frescura y una opción saludable para los consumidores.

Por último, se decidió incluir una imagen con movimiento implícito antes que una estática, ya que está demostrado que, por motivos relacionados con el instinto de supervivencia humana, acaparan todos los recursos atencionales y hace que los productos sean percibidos como más sabrosos y frescos (Yu *et al*., 2022). Es por ello que la imagen escogida fue una naranja jugosa partida en tres trozos. Se situó en el área central del envase, siendo uno de los elementos que más destacan en la jerarquía visual conjunta.

- **Versión B** (Zumo de naranja neutro)
  El color de fondo escogido fue una tonalidad crema muy clara (#E4E4D3), que transmite sencillez y neutralidad. Esto se debe a que las marcas blancas suelen evitar usar colores muy llamativos e intensos para que los consumidores perciban su producto como básico y más accesible. No obstante, tanto en la base como en la parte inferior de cada cara, se decidió aplicar una cinta rectangular de color azul profundo (#275F92) que, más que ser un tono que llame la atención, se percibe como sobrio y discreto. Con esta cinta se pretendía aportar un elemento mínimo de diferenciación al diseño, pero sin resultar extremadamente persuasivo.

  Como tipografía principal y única en todo el envase, se empleó *Raleway*. Se trata de una fuente sin serifa, escogida por sus líneas limpias y su ausencia de contrastes y remates, lo que refuerza esa sensación de simpleza y minimalismo. No se quiso aplicar ninguna combinación tipográfica para no aparentar ser un envase muy complejo y refinado. Se le aplicó un color naranja claro (#EAA95F) en consonancia con la imagen. También se le añadió un reborde de un tono más oscuro, para que, junto con la claridad del fondo, se pudiera leer el texto o contenido del producto de manera directa.
  A diferencia de las imágenes con elementos dinámicos, colores intensos o gotas frescas que se usan en diseños de neuromarketing, la imagen escogida para esta ocasión fue una naranja realista, cortada a la mitad, sin más adornos. De este modo, se muestra sin rodeos y sin elementos emocionales qué es lo que el producto ofrece.

- **Versión A** (Bombón de chocolate basado en neuromarketing)
  Con este diseño, se quiso mostrar este producto como una opción elegante y exclusiva frente a otras alternativas de bombones. Para ello, se aplicó un estampado con líneas curvas y tonos dorados en el fondo. Al mismo tiempo que el dorado servía para fortalecer la sensación de lujo y sofisticación evocadas por la combinación con el negro, las líneas curvas y en movimiento transmitían dinamismo y agilizaban el procesamiento cerebral, haciendo más notable este diseño en comparación con otro (Yu *et al*., 2022; Wei *et al*., 2023). Con el objetivo de reducir el aspecto plano del estampado dorado y aportar mayor profundidad, se añadieron pequeños degradados oscuros en sus bordes.

  En superposición con el fondo, se aplicó un cuadro rectangular negro, color que genera respuestas fisiológicas de alerta y tensión, lo que es clave para conseguir un gran impacto visual junto con su contraste con el dorado (Bitbrain, 2018; Malfitano Cayuela *et al*., 2007; Renvoisé & Morin, 2006). Se optó por redondear las esquinas del rectángulo porque además de que las formas angulosas y puntiagudas precisan de un mayor esfuerzo cognitivo que las redondas y resultan menos agradables para la vista, llaman en menor medida la atención en el cerebro (Wei *et al*., 2023). Ambos colores, se encuentran en tonos mate por lo que ya se ha mencionado en el anterior

diseño: reducen el sentimiento de culpabilidad tanto al consumir como al comprar (Rocha, 2023).

Sobre el cuadro de color negro, se escribió en dorado el texto principal ("Bombones de chocolate") en la tipografía *Caitlin*, que es script y con formas redondas. Teniendo en cuenta que este estilo tipográfico imita la escritura a mano, da la sensación de que el producto que se ofrece ha sido elaborado con cuidado y al detalle (Dool Agency, 2025; Universidad Europea, 2024). Además, con esa forma curva también se buscó generar agrado, preferencia general y una respuesta cerebral más veloz, como Medved *et al*. (2023) demostraron.

Debajo del texto principal, se decidió escribir en un tamaño menor la siguiente frase: "Un placer dulce y cremoso". A través de ella, se pretendía generar una respuesta emocional en los participantes para apelar al cerebro primitivo (sexta clave) (Renvoisé & Morin, 2006). La tipografía usada para esta frase fue serifa *(Playfair display)* para estar de acorde con la impresión general de sofisticación y exclusividad que se quería transmitir del producto. Al igual que en la tipografía principal, el color usado fue el dorado, ya que con el fondo negro generaba un alto contraste captador de atención (Bitbrain, 2018; Renvoisé & Morin, 2006).

La organización entre la superposición negra y el fondo dorado sirvió para encuadrar toda la composición y transmitir una sensación de organización y elaboración. Esto, también se aprovechó para concentrar los elementos más importantes en la jerarquía visual dentro del cuadro negro. Aquí, se colocó un sello redondo y dorado de "100% calidad", en correspondencia con la tipografía con serifa del texto secundario anterior, y para que el producto se percibiese como de mayor calidad o de alta gama. Junto al sello, se incluyó una imagen de una salpicadura de chocolate en movimiento. La justificación detrás de la elección de dicha imagen se encuentra, al igual que con el zumo, justificado en el estudio de Yu, Droulers y Lacoste-Badie (2022).

- **Versión B** (Bombón de chocolate neutro)

  Esta versión, al igual que la anterior, tiene la intención de mostrar el producto como una opción genérica, por lo que se busca suprimir elementos demasiado llamativos que puedan influir de manera inconsciente en la toma de decisiones.

  Como se quería que el producto fuera percibido como funcional, neutro y simple, se utilizó como color base un tono blanco hueso (#FFFFF6). Sobre él, se aplicó un patrón lineal con la silueta de semillas de cacao. El tono escogido para ello, fue un marrón oscuro (#7F1800) con opacidad al 35%, para que el diseño pudiera tener un mínimo de decoración, pero sin desviar en exceso el foco atencional.

  En el centro, se colocó una franja horizontal color gris oscuro (#3A3A3A) que dividió la cara principal del envase. Sobre ella, se superpuso un rectángulo color gris claro (#D9D9D9). Ambos son tonos que se escogieron por no generar asociaciones psicológicas y emocionales fuertes, haciendo que el diseño pase más desapercibido. Dentro del rectángulo, se escribió el texto principal, que corresponde con el nombre completo del producto, "Bombones de chocolate". La tipografía escogida fue la *Oswald*, que es sans serif y de forma angular. Gracias a sus trazos limpios y simples, se podría transmitir esa imagen simplista y de carácter genérico, propia de envases de marca blanca. El color aplicado para este texto fue el mismo marrón utilizado en el patrón de semillas de cacao.

  Mientras que en su versión de neuromarketing, sí se recurrió a imágenes llamativas para inducir en las percepciones de calidad, para este diseño no se aplicó ninguna. Tampoco se incluyeron sellos de calidad ni frases persuasivas, para intentar que la evaluación que los participantes hicieran sobre este diseño fuera más objetiva.

Como se ha podido observar, la elección de ciertos elementos aplicados en los diseños de neuromarketing están fundamentados en autores, artículos, estudios y fuentes web presentados y explicados en el marco teórico. Por el contrario, para las versiones neutras, no se quiso aplicar ningún principio de neuromarketing. Simplemente, se emplearon elementos sencillos propios de diseños de marca blanca.

Ahora bien, una vez se revisó y perfeccionó cada versión, se procedió a su impresión en escala real con una impresora láser. A continuación, las plantillas impresas se adhirieron a los envases correspondientes. Como ya se ha mencionado, en el caso de los zumos, los envases utilizados en ambos casos (con y sin neuromarketing) fueron los bricks iguales del zumo original. En cambio, para los dos tipos de bombón, se recurrió a la misma caja donde se adhirieron los dos diseños.

5.3.2. Cuestionario

Como instrumento de recogida de datos, se elaboró un cuestionario (véase anexo III). Este se organizó en varios bloques, cada uno orientado a cumplir con un objetivo específico.

En primer lugar, se incluyeron preguntas generales para categorizar la muestra de los participantes. Para ello, se preguntó tanto sobre sus características demográficas (edad y sexo), como sobre su frecuencia de consumo.

En segundo lugar, se diferenciaron varias preguntas más específicas por cada muestra. A través de ellas, se pretendía medir tanto la percepción de calidad, como posibles diferencias en el atractivo o la cantidad dispuesta a pagar. Se decidieron diseñar estas preguntas de manera individual con el objetivo de reducir posibles sesgos en las respuestas y evitar que los participantes estuvieran condicionados a elegir directamente entre dos productos. Se buscó que la formulación de estas cuestiones no indujera respuestas, por lo que no se utilizaron preguntas que comenzaran con "cuál de los dos productos…" o similar.

Se incluyeron preguntas acerca del sabor percibido para comprobar si la versión de neuromarketing generaba una sensación "más agradable" que la versión neutra. También se preguntó por la acidez de los zumos, y sobre el dulzor de los bombones, aunque no con el propósito de evaluar dichos aspectos, sino como un modo de comprobación de que los participantes realmente percibían las muestras como si fueran productos de distintas propiedades, más allá del tipo de envase.

Por último, se estableció un bloque común en el que los participantes debían contestar preguntas comparativas entre las dos muestras de un mismo producto. Se preguntó sobre el agrado de la muestra en general y sobre la recomendación de compra.

Para la mayoría de preguntas (excepto las usadas para categorizar), se empleó una escala Likert de cinco puntos, que se adaptó según la cuestión planteada (por ejemplo, de "muy baja calidad" a "muy alta calidad", o de "muy desagradable" a "muy agradable"). Se recurrió a dicha escala de medición al presentar unas opciones de respuestas más amplias y detalladas que otro tipo de preguntas. Además, servía de ayuda para evitar sesgos por comparaciones directas y forzadas.

5.4. Procedimiento

A pesar de que no fue posible realizar la cata con 90 participantes en un mismo día, el procedimiento llevado a cabo para cada uno de ellos fue el mismo.

Se utilizaron dos salas o espacios diferentes. En la primera, los participantes esperaban hasta ser llamados a la segunda sala, donde podrían realizar la cata. Una vez terminaban la evaluación de los productos, regresaban a la primera sala, pero sin interactuar con aquellos que aún no habían participado. De este modo, un sesgo de comunicación y efecto arrastre significativo se evitó pues los primeros participantes no podrían compartir sus percepciones y condicionar las respuestas de los siguientes.

En la segunda sala, cada envase finalizado ya con el diseño adherido, se colocó en fila sobre una mesa, con sus muestras correspondientes colocadas frente a cada uno. En cuanto a la presentación, los zumos de naranja se sirvieron en vasos de plástico de igual color y tamaño (80 ml), mientras que los bombones se presentaron con las formas ya mencionadas (circulares o rectangulares). Ambos se colocaron delante del envase con el diseño correspondiente.

Para la presentación de cada producto, se estableció un orden específico: primero, el zumo de naranja, en la versión A y luego la B. A continuación, los bombones, aunque esta vez comenzando con la versión B y terminando con la A. Dicha disposición se mantuvo igual para todos los participantes. Además, para organizar la clasificación de cada producto en los cuestionarios, estos se nombraron como: muestra A, muestra B, muestra C y muestra D, respectivamente. En la cata, estos nombres se escribieron sobre carteles de mesa y se colocaron frente a los productos correspondientes para aportar mayor claridad y evitar confusiones (figura 9).



Figura 9 (Organización y modo de presentación de los productos en la cata). Fuente: elaboración propia.

Cuando los participantes entraban de manera individual en la segunda sala, se les entregaba un documento impreso con las instrucciones e indicaciones a seguir (Ver Anexo IV). En él, se explicaba el proceso y orden establecido para probar cada muestra. Además, se informaba de que su participación era completamente anónima ya que en los cuestionarios se les otorgaría un código numérico, y que los únicos datos personales que tendrían que compartir serían su edad y su sexo. También se aclaraba que durante la prueba no se podría hablar ni preguntar dudas puesto que la información necesaria para participar se encontraba redactada en dicho documento. Con esto, se buscó que todos los participantes partieran con las mismas condiciones e información sobre los productos. A su vez, se advertía de que no podrían manipular los envases, solo las muestras que tendrían que probar. Finalmente, se les agradecía su colaboración y se pedía responder de manera sincera y honesta.

Una vez habían leído y comprendido las indicaciones, se sentaban frente a la mesa con todos los productos presentados. Aquí, se les entregaba los cuestionarios impresos en papel y se les proporcionaba un bolígrafo. A continuación, comenzaban la cata:

Primero, probaban una muestra y después, respondían las preguntas del cuestionario correspondientes. Repetían este proceso con las muestras restantes, siguiendo en todo momento el orden de productos establecido anteriormente (zumo A, zumo B, bombón B y bombón A). Se quiso que las muestras se probaran y respondieran de manera individual y no por cada pareja de productos iguales para evitar que los participantes olvidasen las propiedades de alguno de los dos productos o se acordasen en mayor medida del último que habían probado (efecto recencia). No se estableció ningún límite de tiempo, pero en el momento en que terminaban de evaluar los productos y entregaban sus respuestas, pasaban al tercer espacio y se daba por concluida su participación (figuras 10 y 11).

Resulta importante señalar que para asegurar que los candidatos cumplían con los criterios de selección pertinentes, antes de que comenzasen la fase experimental, se les preguntó de manera verbal por alergias, intolerancias, conocimiento breve sobre lo que se va a evaluar, así como por posibles casos de daltonismo y enfermedades que afectan la percepción de sabor.



Figuras 10 y 11 (Evaluación de los productos por los participantes) Fuente: elaboración propia.

6. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS

El programa de cálculo seleccionado para analizar los datos fue Excel. Si se considera que cada uno de los 90 participantes probó un total de 4 muestras (dos de cada producto), en total, se consiguieron 360 evaluaciones, que se introdujeron una a una a un archivo de Excel. Todas las valoraciones se recopilaron en una tabla situada en la hoja llamada "datos". Cada fila de la tabla correspondía a un participante, mientras que cada columna representaba la puntuación asignada a una característica específica del producto según las preguntas del cuestionario para cada muestra.

A continuación, se creó una nueva hoja denominada "diferencias", en la que se realizaría la diferencia entre la puntuación otorgada al envase con diseño de neuromarketing y la puntuación del diseño neutro. De modo que:

- Si la diferencia resultaba positiva (>0), significaba que el envase con diseño de neuromarketing había recibido mejor puntuación que el envase neutro en dicha característica específica.
- Si la diferencia era igual a 0 (=0), los participantes habían puntuado igual ambas muestras.
- Si la diferencia obtenida poseía un valor negativo (<0), el envase con diseño neutro agradaba más que el de neuromarketing en esa característica determinada.

En esta misma hoja también se contabilizó el número total de participantes que habían preferido el envase de neuromarketing, los que no habían percibido apenas diferencia y aquellos que se inclinaban hacia el envase de diseño neutro. Asimismo, se calculó el promedio, que muestra la media de las diferencias entre las puntuaciones en cada característica. Si este tenía un

valor positivo, significaba que, en conjunto, los participantes habrían optado por la muestra de neuromarketing.

Por último, se creó una nueva hoja que recibió el nombre de "segmentación", en la que se podría comprobar si las respuestas que cada participante había dado podían variar en función de la edad, sexo, o frecuencia de consumo. Es por ello por lo que se elaboraron tablas específicas por cada producto que relacionasen dichas variables demográficas con algunas de las características evaluadas en los cuestionarios. A través de ellas, contabilizamos el número total de participantes de una característica específica que había optado por el envase de neuromarketing en un aspecto en específico, así como el promedio de preferencia (utilizado para ver la intensidad general del efecto en cada grupo) y la media (con el fin de medir la magnitud del cambio dado por dicho grupo de personas). Los datos brutos recogidos y las diferencias de puntuación pueden consultarse en el anexo V.

7. RESULTADOS

En este apartado, se estudiaron los datos obtenidos durante la fase experimental para comprobar si el envase diseñado en base a principios y estudios de neuromarketing incrementaba la percepción de calidad de un mismo producto frente a un envase neutro. La calidad no podía ser evaluada de manera aislada ya que se construye a partir de otras propiedades inherentes. Por consiguiente, para su correcta evaluación fue necesario recurrir a otras características evaluadas mediante cuestionarios que reforzaban y matizaban la calidad percibida por los participantes, como el sabor (general y específico), el envase, el precio dispuesto a pagar, la recomendación o el gusto general.

En primer lugar se expusieron las comparaciones globales de cada producto. Para cada característica evaluada, se analizó el número de participantes que otorgó mayor puntuación al producto con envase de neuromarketing, aquellos que puntuaron igual y quienes se inclinaron hacia el producto con el envase neutro. Las gráficas adjuntas reflejan estas tres categorías como "Envase NM", "Igual" y "Envase neutro", que permiten visualizar de manera directa la orientación de las preferencias generales.

Asimismo, se analizaron las diferencias en la percepción de calidad y en las características asociadas en función de variables sociodemográficas como el sexo, la edad y la frecuencia de consumo.

En las tablas 6 y 7 se recoge la distribución total de las respuestas de los 90 participantes para cada característica evaluada. En ellas, se muestra el número de personas que puntuó más al envase de neuromarketing, a ambos por igual y al envase neutro, junto con los porcentajes y medias correspondientes.

	SABOR ZUMO	ACIDEZ ZUMO	CALIDAD ZUMO	ATRACTIVO ZUMO	PRECIO ZUMO	RECOM ZUMO	GUSTO ZUMO
Envase NM	53	13	50	66	47	56	54
Igual	22	32	23	14	27	13	14
Envase Neutro	15	45	17	10	16	21	22

	SABOR BOMBÓN	DULZOR BOMBÓN	CALIDAD BOMBÓN	ATRACTIVO BOMBÓN	PRECIO BOMBÓN	RECOM BOMBÓN	GUSTO BOMBÓN
Envase NM	50	34	57	67	57	54	55
Igual	19	30	20	13	23	22	21
Envase Neutro	21	26	13	10	10	14	14

Tabla 6. (resultados de las percepciones del zumo) y 7 (resultados de las percepciones del bombón). Fuente: elaboración propia.

- Comenzando por el sabor del zumo, se observó cómo la mayoría de participantes (58,9%) valoró mejor el sabor del producto con envase de neuromarketing, mientras que el 24,4% puntuó ambos por igual y el 16,7% se decantó por el sabor del neutro. La media de la diferencia de puntuaciones entre ambos envases fue de +0,62 puntos. La medias absolutas de puntuación fueron de 3.73 sobre 5 para el de neuromarketing, y de 2.97 para el neutro.

  En el caso de los bombones, el 55,6% valoró más positivamente el sabor del envase de neuromarketing frente al 23,3% que prefirió el sabor del envase neutro y el 21,1% que puntuó ambos por igual. La media de la diferencia fue de +0,49 puntos. Las puntuaciones medias fueron de 4,03 puntos para el bombón de neuromarketing y de 3,54 para el bombón neutro.

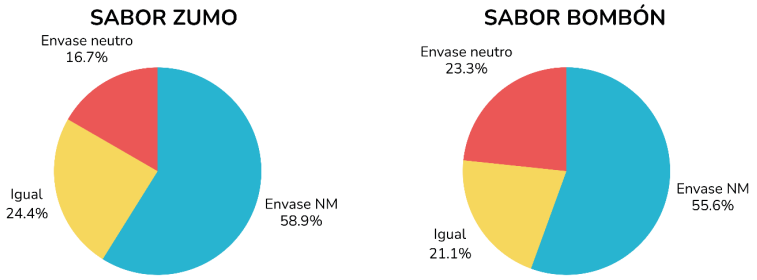


Gráfico 1. Fuente: elaboración propia.

- Respecto a la acidez del zumo, las puntuaciones mostraron un patrón inverso al del sabor. El 50% percibió como más ácido el zumo con envase neutro, en tanto que el 35,6% los consideró igual de ácidos y el 14.4% identificó como más ácido el zumo con envase de neuromarketing. La media de la diferencia fue de -0,56 puntos. En cuanto a las puntuaciones medias, el zumo neutro obtuvo 2,82 puntos en acidez, frente a los 1,96 del zumo con envase de neuromarketing.

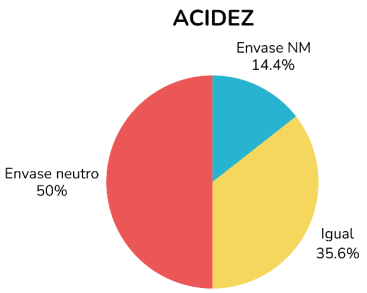


Gráfico 2.
Fuente: elaboración propia.

- En cuanto al dulzor de los bombones, se observó un mayor equilibrio: el 37.8% notó más dulce el bombón con envase de neuromarketing, el 33,3% indicó el mismo nivel de dulzor en ambos, y el 28,9% consideró más dulce el bombón de envase neutro. La media de la diferencia fue de +0,21 puntos. Las puntuaciones medias se corresponden con la similitud de los porcentajes, con una leve asociación del bombón de neuromarketing a sabores más dulces (4,04), frente al 3,85 del neutro.

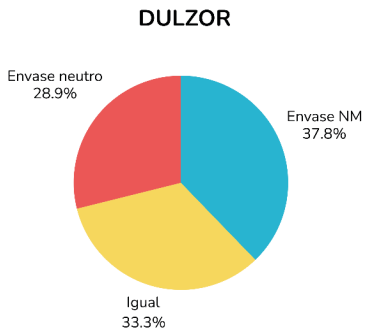


Gráfico 3.
Fuente: elaboración propia.

- En lo que respecta a la calidad del zumo, la mayor parte de los participantes (55,6%) valoró como de mayor calidad al producto con envase de neuromarketing, mientras que el 25,6% no percibió diferencias y el 18,9% restante consideró que el envase neutro presentaba mayor calidad. La media de la diferencia entre ambos envases fue de +1,03 puntos.

En el caso de los bombones, el 63,3% puntuó como de mayor calidad al envase de neuromarketing, en tanto que el 22,2% no percibió diferencias y el 14,4% atribuyó mayor calidad al envase neutro. La media de la diferencia fue de +0,99 puntos. Estas diferencias se reflejaron también en las puntuaciones medias, que fueron de 3,49 puntos frente a 2,45 en el zumo, y de 3,84 frente a 2,86 en el caso de los bombones.

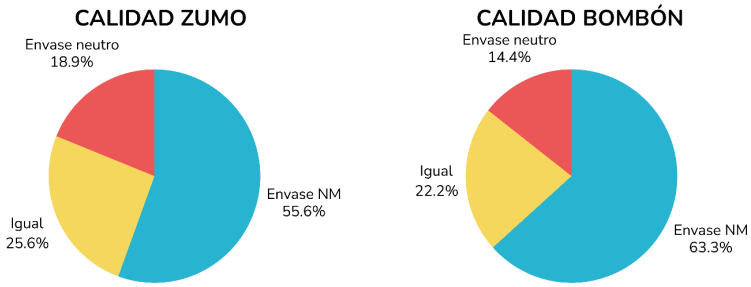


Gráfico 4. Fuente: elaboración propia.

- Cuando se preguntó a los participantes por el nivel de atractivo que sentían al ver cada muestra, el 73,3% otorgó más puntuación al envase de neuromarketing en el caso del zumo, mientras que el 15,6% los puntuó por igual y el 11,1% prefirió el envase neutro. La media de la diferencia entre las puntuaciones fue de +1,28.

  En los bombones se observó una tendencia similar: el 74,4% percibió el envase de neuromarketing como más atractivo, frente al 14,4% que notó el mismo nivel de atractivo y el 11,1% que valoró más el envase neutro. La media de la diferencia fue de +1,37.Las puntuaciones medias fueron elevadas en los productos cone envase de neuromarketing: el zumo obtuvo 3,70 puntos frente a 2,42 del neutro, y los bombones 4,18 frente a 2,81 puntos del neutro.

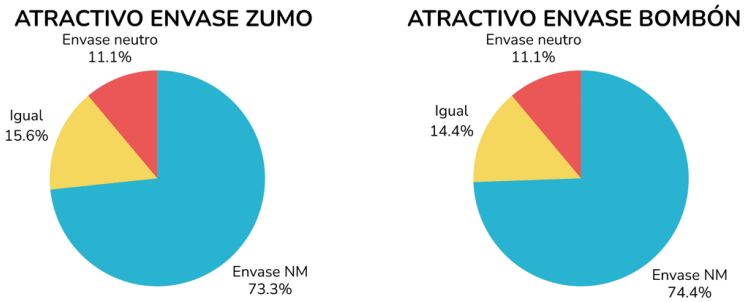


Gráfico 5. Fuente: elaboración propia.

- La cantidad dispuesta a pagar por los participantes por el zumo fue mayor (52,2%) para el envase de NM, mientras que un 17,8% pagaría más por el envase neutro, y el 30% pagaría igual para ambos. En los bombones, el 63,3% estuvo dispuesto a pagar más por el producto con envase de neuromarketing, frente al 11,1% por el neutro y el 25,6% que indicó la misma disposición para ambos. En relación con el mayor porcentaje de participantes dispuestos a pagar más por el producto con envase de NM, se comparan las medias de las diferencias de las puntuaciones, que resultan mayores para los bombones (+0,88) que para el zumo (+0,54), aunque manteniendo la tendencia a favor del diseño NM. Las puntuaciones medias muestran esta disposición mayor hacia el producto de neuromarketing, siendo 2,52 puntos frente a 1,97 del zumo neutro, y en los bombones 3,03 frente a 2,09 puntos.

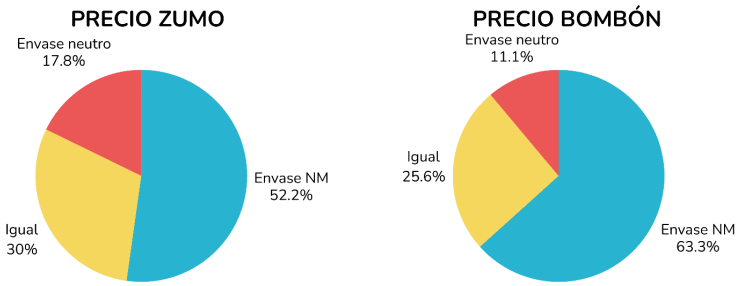


Gráfico 6. Fuente: elaboración propia

- Cuando los participantes tuvieron que puntuar del 1 al 5 cuánto recomendarían cada producto a conocidos un 62,2% mostró mayor intención de recomendar el zumo de neuromarketing, frente al 23,3% que prefirió el zumo neutro y el 14,4% que recomendaba cada zumo por igual. La media de la diferencia fue de +0,86 puntos.

  Respecto a los bombones, el 60% indicó una mayor intención de recomendación para el producto con envase de neuromarketing, mientras que el 15,6% recomendó más el neutro y el 24,4% puntuó ambos por igual. En esta ocasión, la media de la diferencia fue de +0,80 puntos. En conjunto, se dió una puntuación de 3,26 para el zumo de neuromarketing y un 2,41 para el neutro, y un 3,69 para los bombones de NM frente a un 2,89.

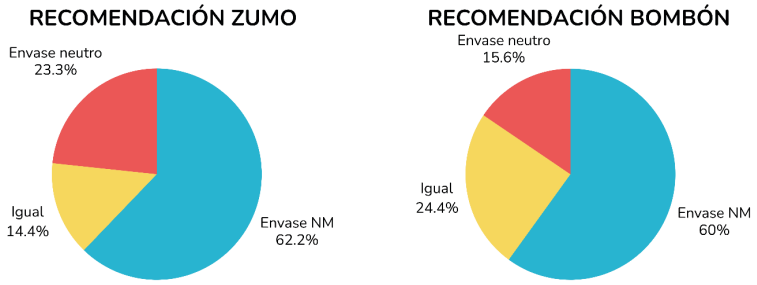


Gráfico 7. Fuente: elaboración propia.

- La última pregunta del cuestionario correspondió al gusto general que cada muestra había provocado en los participantes. En ambos productos, la mayoría se decidió por el producto de envase de neuromarketing (60% en el zumo y 61,1% en los bombones). Al igual que con la recomendación de compra, en el caso del zumo el porcentaje de participantes que prefirió el envase neutro (24,4%) es mayor que el de los que los valoraron por igual (15,6%), mientras que en los bombones ocurre lo contrario: a un 23,3% indicó un gusto general igual para ambos, y un 15,6% prefirió el bombón neutro.

  La media de la diferencia continuó con la tendencia ya mostrada hacia los productos con envase de NM: +0,73 puntos para el zumo, y +0,76 para los bombones. Las puntuaciones medias fueron de 3,39 puntos frente a 2,66 en el caso del zumo y 3,90 frente a 3,15 en los bombones

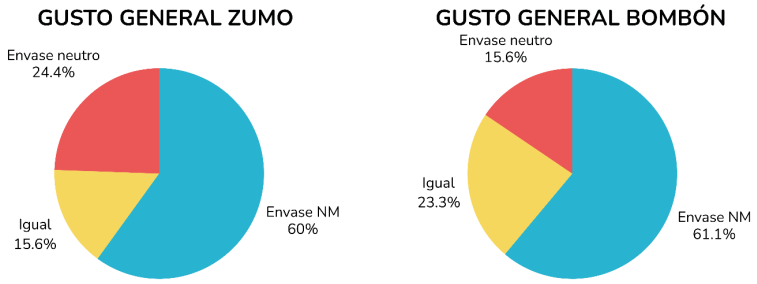


Gráfico 8. Fuente: elaboración propia.

Tras haber analizado de manera individual cada propiedad evaluada, se presentan a continuación las medias de las diferencias de las puntuaciones otorgadas a cada característica de manera general. De este modo, se pueden realizar comparaciones más directas para cada variable entre los envases de neuromarketing y los envases neutros (Gráfico 9).

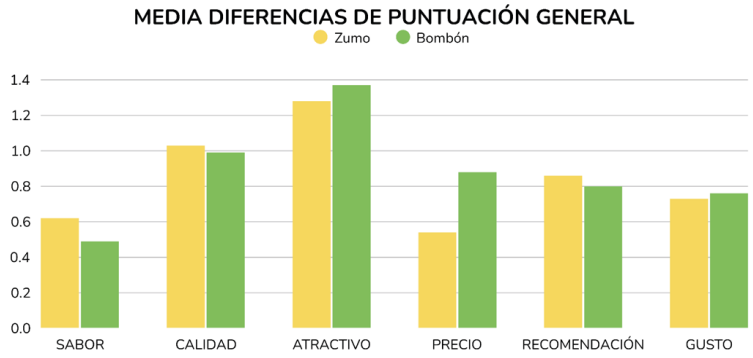


Gráfico 9. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, es en el atractivo del envase donde mayor es la diferencia entre las puntuaciones que los participantes han dado al producto de neuromarketing y al producto neutro. En ambos, la media se asemeja: +1,28 en el zumo, y + 1,37 en el bombón. Teniendo en cuenta que es esta característica la que también obtuvo el mayor porcentaje de participantes que valoraron más positivamente el envase de neuromarketing tanto en el zumo como en el bombón, se muestra que esta es la variable en la que se registra la mayor diferencia perceptiva entre ambos diseños.

Por otra parte, el segundo aspecto con una de las diferencias más notables es la calidad. Aquí, las puntuaciones otorgadas al producto con envase de NM resultan, de media, +1,03 puntos superior al neutro en el zumo, y de + 0,99 superior en los bombones. Esto indica que, además de obtener las mayores diferencias en atractivo, el envase de neuromarketing presenta también incrementos relevantes en otras de las variables que se han evaluado, especialmente en la calidad percibida.

Respecto a la recomendación (zumo: +0,86; bombón: +0,80) y el gusto general (zumo: +0,73; bombón: +0,76), también presentan incrementos consistentes y positivos hacia el envase de neuromarketing, aunque con cambios de menor magnitud que los comentados anteriormente.

Los cambios en lo agradable que resulta el sabor (zumo: +0,62; bombón: +0,49) son más moderados, lo que refleja que la percepción gustativa es menos sensible que, por ejemplo, la calidad.

Finalmente, se observa que la cantidad dispuesta a pagar sí aumenta en ambos productos, aunque en el zumo la puntuación tiene menor diferencia que en los bombones (zumo: + 0,54; bombón: +0,88).

En conjunto, el atractivo del envase es la variable con mayor diferencia media, seguida de la calidad, la recomendación y el gusto general, mientras que las diferencias en sabor y acidez son más moderadas.

Una vez expuestos los resultados de cada característica de los productos y las preferencias generales, se procede a segmentar dichos resultados según el sexo, la edad y la frecuencia de consumo de los participantes. A continuación, se expondrán las relaciones y diferencias más relevantes y notables.

En general, los hombres mostraron una mayor preferencia por el producto con envase de neuromarketing en la mayoría de las variables evaluadas, especialmente en las relacionadas con el bombón de chocolate, excepto en el atractivo del envase. Dicha tendencia, puede observarse en la calidad, precio, recomendación y gusto general. En el anexo VI, se pueden consultar las tablas con los promedios de preferencia al envase NM y medias por cada característica según el sexo.

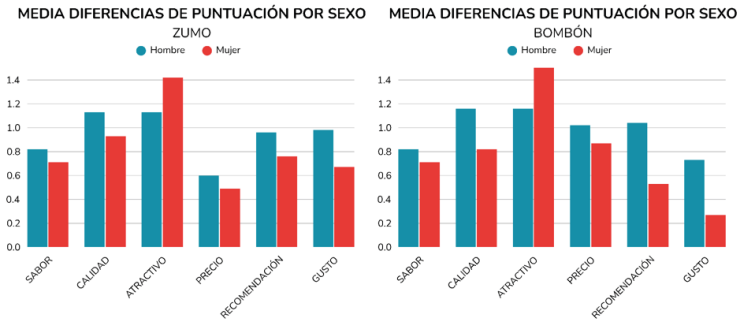


Gráfico 10. Fuente: elaboración propia.

- Calidad: En el zumo, tanto hombres como mujeres tienen porcentajes similares (57,8% y 53,3%), aunque con una media de diferencia de 1,13 y 0,93, respectivamente. Esto indica una mayor valoración de la calidad del producto con envase NM en ambos sexos, con una diferencia media ligeramente superior en hombres. En cambio, en los bombones, lo anterior ocurre en un porcentaje mayor de hombres (73,3%) que de mujeres (53,3%), además, con una media de diferencia mucho más marcada, con +1,16 en los hombres y +0,82 en mujeres.
- Envase: A pesar de que el porcentaje de hombres y mujeres que notó más atractivo el envase de NM es el mismo en el zumo (73,33%), las mujeres puntúan con más margen de diferencia (de +1,42) que los hombres (+1,13). Esto

se refleja en una mayor diferencia media en las puntuaciones otorgadas por las mujeres, aunque no se traduce en un porcentaje superior de preferencia. En los bombones, hay ahora mayor porcentaje de mujeres (82,2%) que de hombres (66,6%) que puntúan superior al envase NM, con una media de diferencia correspondiente (1,58 en mujeres frente a 1,16 en hombres). De nuevo, se observa una mayor diferencia en las valoraciones del envase por parte de las mujeres, especialmente en el caso de los bombones.

- Sobre la cantidad dispuesta a pagar, en ambos productos hay un mayor porcentaje de hombres que pagaría más por el envase de NM que mujeres (en zumo: el 60% frente al 44,4% de mujeres; en bombón: el 71,1% frente al 55,55%). Además, las medias de diferencia también son superiores en hombres.
- En cuanto a recomendación, gusto general y sabor, aunque también hay mayor número de hombres que puntúa mejor al producto de NM en los zumos, en los bombones fueron notablemente superiores a las mujeres. Se observa, asimismo, mayor número de hombres que puntúa mejor al envase NM frente a mujeres.

Se volvieron a analizar estas características por los tres rangos de edad establecidos (rango 1: 15-30; rango 2: 31-55; rango 3: 56-75) y se obtuvieron los siguientes resultados, basados en los datos recogidos en el anexo VII:

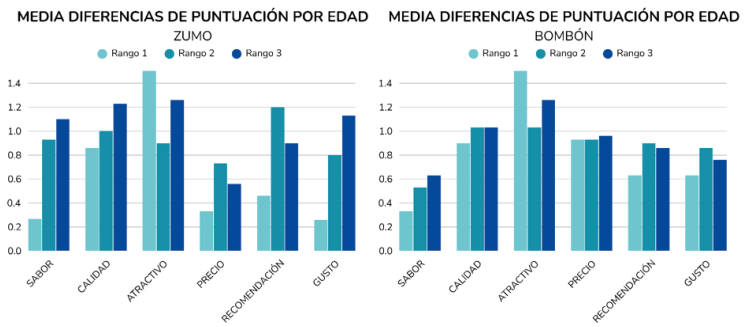


Gráfico 11. Fuente: elaboración propia.

- Calidad: Mientras que el porcentaje de preferencia hacia el zumo de NM es muy similar en los tres grupos (en torno al 55%), hay mayor disparidad en la media de diferencias, siendo mayor en el tercer (+1,23 puntos) y segundo rango (+1), en comparación con el primero (+0,87).
- En los bombones, la preferencia promedia no es tan homogénea, pues ahora es el rango 1 quién tiene mayor porcentaje (70%), frente al rango 2 (56,67%) y al rango 3 (63,33%). No obstante, en correspondencia con el zumo, vuelven a ser los rangos 2 y 3 los que más diferencia de puntuación dan (+1,03 puntos en ambos rangos).
- Envases: Tanto en el zumo como en el bombón, hay mayor porcentaje de preferencia hacia el envase de NM por el rango 1 (zumo: 83,33%; bombón: 93,33%) que por los rangos 2 y 3, aunque también con más de la mitad de personas que puntúan mejor al envase de NM. Las medias de diferencias son, de nuevo, las más altas de todas, aunque la diferencia de puntuaciones disminuye levemente con la edad, ya que es en el rango 1 donde mayor hay (zumo: +1,67; bombón: +1,8). Con eso, se ve como todos los rangos de edad muestran una elevada preferencia por el envase de neuromarketing, con medias de diferencias altas en los tres grupos, aunque dichas diferencias son mayores en el rango 1 y disminuyen progresivamente con la edad.
- Cantidad dispuesta a pagar: En este aspecto también hay diferencias con la edad. En el zumo, el rango 2 es el más influenciado (+0,73 puntos), mientras que el rango 1 (+0,33) y el rango 3 (+0,57) muestran efectos más moderados. En el bombón de NM, las medias de diferencia son muy similares entre grupos, entre +0,93 y + 0,96 puntos. Aunque los resultados indican que el impacto del envase de neuromarketing sobre el precio es evidente, no parece variar tanto según la edad como en otros atributos.
- Respecto a la recomendación de los dos productos, el rango 2 presenta valores de diferencia mayores (zumo: +1,20; bombón: +0,9) que el resto de edades. Esto se mantiene también en el gusto general del bombón (+0,87), pero no del zumo, pues aquí es el rango 3 el que supera dicha media de diferencia (+1,13).
- Por último, en sabor se observa una tendencia similar a la de los atributos de calidad y atractivo del envase, con un aumento progresivo de la diferencia de valoraciones con la edad.

La última variable sociodemográfica con la que se querían ver posibles variaciones en las puntuaciones de las percepciones era la frecuencia de consumo. Sin embargo,

dado que la gran mayoría de participantes manifestó que era consumidor ocasional de ambos productos, no se pudieron comparar con las personas que no consumían nunca o que lo hacían a diario (gráfico 11).

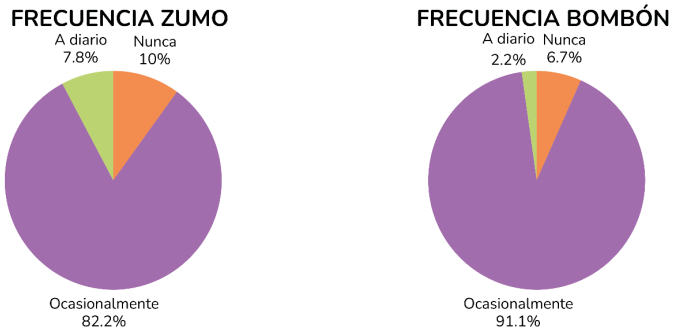


Gráfico 12. Fuente: elaboración propia.

8. CONCLUSIONES

Tras haber realizado este estudio en el que se observa la efectividad de las técnicas y principios de neuromarketing, se concluye lo siguiente:

- Los resultados obtenidos permiten afirmar la hipótesis de esta investigación: que el neuromarketing aplicado al diseño de un envase aumenta la percepción de calidad del producto. Aunque los productos que los participantes probaron eran de contenido idéntico, atribuyeron una mayor calidad al que estaba con el diseño de neuromarketing. Este efecto pone de manifiesto que el envase actuó como un estímulo visual asociado a una valoración más positiva del producto en su conjunto.
- El diseño que se realizó en la fase experimental basado en la revisión bibliográfica recogida en el marco teórico, resultó ser efectivo, ya que los participantes mostraron diferencias entre las puntuaciones que daban a cada producto, a favor del presentado con envase de neuromarketing. Los elementos visuales empleados, como colores, tipografías y formas gráficas, se asociaron a una percepción de mayor calidad del producto. Es por ello que se concluye que el diseño del envase constituye una herramienta relevante en la configuración de la experiencia global del consumidor.
- Los principios de neuromarketing resultaron muy efectivos para incrementar el nivel de atractivo generado por el envase. Una clara evidencia de ello es que esta variable mostró las puntuaciones, los porcentajes de preferencia y las medias de diferencia más altas entre todas las características evaluadas. Además, esta fue la característica más constante entre los dos productos, lo que contribuyó a que los consumidores evaluaran ligeramente mejor los demás aspectos del producto presentado en el envase de neuromarketing. Por tanto, los resultados coinciden con lo planteado en la literatura previa, que señala que los estímulos visuales basados en principios de neurociencia y psicología del consumidor son capaces de captar la atención e influir en la evaluación global del producto.
- El envase en el que se presentó cada producto también tuvo influencia en la percepción del sabor. Si bien dicho efecto fue algo más moderado que en otras características, la mayoría de participantes sí tendió a puntuar al de neuromarketing con un sabor más agradable que el neutro. Además, las diferencias registradas en acidez y dulzor indican que las muestras se evaluaron de manera individual. Es decir, los participantes se dejaron llevar por el envase de neuromarketing hasta tal punto de pensar que probaban productos de propiedades y contenido diferente.
- Otra de las conclusiones a las que este trabajo llegó es que, a medida que aumentó la percepción de calidad sobre el producto presentado en el envase de neuromarketing, también lo hizo la cantidad dispuesta a pagar. Esto refleja la estrecha relación entre la percepción de calidad y el precio: cuando el producto se percibe como de mayor calidad, su valoración económica también tiende a incrementarse. Por tanto, los resultados sugieren que tanto la percepción de calidad como la percepción de valor están relacionadas entre sí, y que el diseño del envase puede desempeñar un papel determinante en ambas.
- El sexo y la edad sí generaron algunas diferencias en la forma en la que los participantes reaccionaban al envase de neuromarketing. Sin embargo, estas variaciones no lograron cambiar la conclusión principal, que es que este diseño aumentó la percepción de calidad en todos los grupos. En el caso del sexo, por lo general, los hombres presentaron mayores diferencias y porcentajes de preferencia al envase de neuromarketing en la gran mayoría de atributos vinculados a la calidad, mientras que

las mujeres destacaron principalmente en la valoración del atractivo del envase. Los grupos de mayor edad mostraron diferencias medias superiores en características inherentes a la calidad, y los más jóvenes presentaron mayores diferencias en el atractivo del envase. Sobre la frecuencia de consumo, no se pudieron hacer comparaciones debido a que la mayoría de participantes tenían una ingesta ocasional de estos productos. En conclusión, aunque se observaron algunas diferencias según el sexo y la edad, los principios de neuromarketing aplicados en los diseños tuvieron un efecto constante sobre la percepción de calidad, influyendo en la evaluación del producto independientemente del tipo de consumidor.

9. LIMITACIONES Y POSIBLES MÁRGENES DE ERROR

A lo largo del desarrollo de esta investigación, se identificaron varias limitaciones y posibles márgenes de error que pudieron repercutir en los resultados obtenidos.

El número de participantes se limitó a 90 debido a condicionantes como el tiempo, espacio y recursos disponibles, además de la dificultad logística que implicaba organizar las catas por grupos de edad y sexo y llevar a cabo 360 evaluaciones. Si bien el tamaño de la muestra no fue lo suficientemente amplio, permitió llevar a cabo un proyecto de investigación coherente con los objetivos planteados.

De igual manera, la falta de contrabalanceo entre muestras o el orden fijo de sus presentaciones para todos los participantes, pudo inducir a un posible efecto de primacía o recencia global, aunque la decisión de separar por individual las evaluaciones de cada muestra pudo ser favorable en la reducción de este efecto dentro de los pares de productos.

Asimismo, la imposibilidad de llevar a cabo la cata en un único día, en la misma franja horaria y con condiciones completamente homogéneas para los 90 participantes, constituyó otra limitación, ya que variables externas como la iluminación, la temperatura, el apetito o el estado de ánimo podrían haber influido de manera puntual en las percepciones. Además, dado que no se estableció ningún límite de tiempo para responder las cuestiones, es posible que se dieran diferencias entre los ritmos, la concentración o el nivel atencional de los participantes.

Tampoco se incluyó un periodo de distracción o tarea intermedia entre la prueba de un producto y el siguiente, lo que pudo haber contribuido a un mayor efecto memoria o de comparación directa entre muestras. No obstante, el hecho de que los participantes completasen el cuestionario entre cada muestra generó cierto intervalo temporal que pudo ayudar a moderar en cierta medida dicho efecto.

Asimismo, aunque tanto con las indicaciones de la prueba como con la separación de la sala donde se realizaba la cata se procuró que los participantes no intercambiaran ningún tipo de percepción o juicio, pudieron no haberse percibido pequeñas comunicaciones o interacciones.

Para finalizar, los resultados obtenidos en esta investigación pueden no reflejar una experiencia de compra real en la que hay más competencia de productos junto con otros factores que buscan influir en los consumidores (disposición en las estanterías, marcas, iluminación, melodías, olores…). En relación con esto, la disposición a pagar puntuada por cada producto puede considerarse hipotética, pues es posible que ésta cambie en comportamientos o situaciones de consumo tangibles.

10. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Una vez concluido este proyecto, se crea un punto de partida para continuar investigando en el campo de la neurociencia y psicología aplicada a la conducta de consumo humano. A continuación, se presentan posibles futuras líneas de investigación que podrían resultar de interés:

- Realizar la experimentación con un tamaño muestral más amplio para obtener resultados más generalizables para su aplicación en futuros diseños basados en neuromarketing.
- Replicar la experimentación con otro tipo de productos no alimentarios, como por ejemplo en cosméticos. Con ello, se podría evaluar si el envase cambia la percepción de calidad del producto, o mejora los resultados esperados, o incluso modula la percepción que se tiene de otras propiedades del producto.
- También podrían aplicarse algunas técnicas biométricas propias del neuromarketing, como el eye tracking (EET) o la respuesta galvánica de la piel (GSR). A tra-

vés de ellas, no sólo se podría indagar más qué elementos específicos del diseño producen una mayor activación emocional o acaparan más recursos atencionales, sino que permitiría objetivar los datos recogidos.

- Dado que este proyecto se centró en el impacto de los estímulos visuales en las percepciones de los consumidores, futuras líneas de investigación podrían explorar las influencias que tienen los estímulos propios del neuromarketing auditivo. Por ejemplo, analizando cómo la música del ambiente de las tiendas o los jingles de anuncios modelan la experiencia con el producto. Gracias a esto, se podría comprobar si ambos tipos de neuromarketing tienen la misma efectividad o no.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



12. ANEXOS



HoloScene:

Explorando la holografía interactiva

Andrea Orsolya Kozmac

Tutora: Paola Andrea Pucci

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a Paola Pucci por tutorizar este proyecto de investigación y mantener la fe en mí, incluso en momentos difíciles, mostrándome su apoyo, su ayuda y su confianza en mis capacidades.

Mi especial agradecimiento a mis padres, por las noches de bricolaje y carpintería que marcaron una gran diferencia en el desarrollo de este trabajo. Gracias por vuestra paciencia y apoyo incondicional.

Al IES Guadarrama por impulsar y promover la excelencia en los alumnos, haciendo posible la realización de este trabajo gracias a su implicación en la investigación.

Finalmente, gracias a todos los que participaron en las encuestas y experimentos; y los que mostraron curiosidad a lo largo del proyecto, reavivando la motivación para investigar. Este trabajo no sería el mismo sin vosotros.

"No puedes predecir el futuro,
pero puedes inventarlo."
Dennis Gabor

ÍNDICE

1. RESUMEN Y ABSTRACT.....384
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....384
3. OBJETIVOS.....384
4. METODOLOGÍA.....385
5. MARCO TEÓRICO.....385
5.1. ¿Qué es un pseudo-holograma? Limitaciones y diferencias.....386
5.1.1. Principios físicos.....386
5.2. Microcontroladores y procesamiento de datos.....388
5.3. Interacción hombre-máquina.....389
5.4. Unity y renderizado 3D.....392
5.5. Aplicaciones prácticas de los pseudo-hologramas.....393
6. HIPÓTESIS.....393
7. IMPLEMENTACIÓN METODOLÓGICA Y DESARROLLO DEL SISTEMA.....394
7.1. Selección de materiales y componentes.....394
7.2. Configuración del entorno de desarrollo.....394
7.3. Codificación e integración de sensores.....395
7.4. Fases de construcción.....397
7.5. Dificultades encontradas y soluciones.....399
7.6. Instrucciones de uso del prototipo.....400
8. ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL ESTUDIO DE INTERACTIVIDAD.....401
8.1. Diseño del cuestionario y procedimiento.....401
8.2. Resultados descriptivos de la experiencia.....402
8.3. Análisis de fiabilidad y margen de error.....402
8.4. Discusión de resultados.....403
9. CONCLUSIONES.....404
9.1. Evaluación de objetivos.....404
9.2. Próximas líneas de investigación.....405
10. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....405
11. ANEXOS.....408

1. RESUMEN Y ABSTRACT

Este proyecto tiene como objetivo diseñar y construir un sistema capaz de proyectar un pseudo-holograma de bajo coste y con recursos accesibles, evaluando la diferencia en la experiencia de usuario entre una versión estática y otra interactiva. Para ello, se desarrolló un prototipo compuesto por una pirámide de PMMA y un portátil como fuente de proyección, junto con un sensor VL53L0X y un joystick conectados a una placa Arduino. Los datos de los sensores se procesan mediante un script de Python y se transmiten a Unity para controlar la visualización del holograma en tiempo real.

Se realizaron pruebas con 93 estudiantes de instituto, recogiendo sus opiniones mediante un cuestionario que evaluó la comprensión del contenido, claridad de la información, motivación e implicación. Los resultados mostraron que la versión interactiva mejoró significativamente la comprensión y la motivación del alumnado frente a la versión estática.

La investigación demuestra la viabilidad de un sistema interactivo accesible para actividades educativas y divulgativas, permitiendo futuras mejoras en tamaño, nitidez y naturalidad de la interacción.

Palabras clave: *pseudo-holograma, interactivo, Pepper's ghost, educación, Arduino, Unity.*

This project aims to design and build a system capable of projecting a low-cost pseudo-hologram using accessible resources, evaluating the difference in user experience between a static version and an interactive one. To this end, a prototype was developed consisting of a PMMA pyramid and a laptop as the projection source, along with a VL53L0X sensor and a joystick connected to an Arduino board. Sensor data is processed through a Python script and transmitted to Unity to control the hologram display in real time.

Tests were conducted with 93 high school students, collecting their feedback through a questionnaire that evaluated content comprehension, clarity of information, motivation, and engagement. The results showed that the interactive version significantly improved students' understanding and motivation compared to the static version.

The research demonstrates the feasibility of an accessible interactive system for educational and outreach activities, allowing for future improvements in size, sharpness, and naturalness of interaction.

Keywords: *pseudo-hologram, interactive, Pepper's ghost, education, Arduino, Unity.*

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Además de responder a una necesidad educativa real, este proyecto tiene también un origen personal que contribuye a dotarlo de coherencia y propósito. Desde la infancia, compartí con mi padre numerosos recuerdos viendo referentes culturales como *Star Wars* o *Iron Man*, donde la presencia constante de hologramas despertó en mí una profunda fascinación. Aquella combinación de ciencia, tecnología e imaginación estimuló mi interés por comprender el funcionamiento de estas proyecciones y explorar la posibilidad de recrear, con recursos propios y accesibles, una versión funcional. A partir de esta idea surgió el objetivo de diseñar un holograma interactivo de bajo coste, integrando programación, sensores y modelos tridimensionales.

Los pseudo-hologramas permiten representar información tridimensional de forma visualmente intuitiva, convirtiéndolas en herramientas útiles para la educación, enseñando la estructura de un átomo en rotación, una célula ampliada o la anatomía de un corazón; la divulgación científica, explicando cómo orbitan los planetas, visualizar moléculas en 3D o mostrando la trayectoria de una partícula; e incluso en el ámbito médico, donde estas mismas técnicas podrían emplearse para visualizar órganos en 3D a partir de TAC o resonancias, planificar cirugías mostrando el recorrido exacto de una intervención o entrenar a estudiantes de medicina con modelos anatómicos interactivos que puedan "desmontarse" explorarse capa a capa sin necesidad de un quirófano real.

No obstante, en este proyecto se aborda específicamente el diseño y construcción de un pseudo-holograma interactivo sencillo, adaptado a los recursos de un centro de Secundaria y Bachillerato y orientado a su aplicación en actividades de aula.

3. OBJETIVOS

El proyecto se organiza en dos líneas principales de trabajo: por un lado, el diseño y la construcción desde cero de un sistema de proyección sencillo de pseudo-holografía

con funciones interactivas, utilizando materiales y recursos accesibles en un centro de Secundaria y Bachillerato; y, por otro, el análisis de la experiencia de los usuarios al comparar un holograma estático con su versión interactiva en un contexto educativo.

A partir de estas líneas, los objetivos se clasifican en generales y específicos:

Objetivos generales:

- Diseñar y construir un sistema capaz de proyectar un pseudo-holograma sencillo, desarrollando inicialmente una versión estática y posteriormente una versión con funcionalidades interactivas.
- Analizar y comparar la experiencia de los usuarios al interactuar con un holograma estático frente a un holograma interactivo, valorando su posible aplicación en actividades de aula.

Objetivos específicos:

- Construir un prototipo de proyección de pseudo-holograma estático empleando recursos fáciles de conseguir y de bajo coste.
- Incorporar sensores y elementos de control básicos, como sensores de distancia o de movimiento, para dotar al prototipo de funciones interactivas.
- Diseñar una actividad sencilla para que distintos usuarios, principalmente alumnado, prueben ambos prototipos y puedan comparar su funcionamiento.
- Recoger y analizar las opiniones de los usuarios sobre la calidad del contenido, la motivación y la facilidad de uso en el caso estático y en el interactivo.
- Evaluar la viabilidad del sistema en términos de simplicidad, coste y posible aplicación en entornos educativos o de divulgación científica.

La finalidad investigadora del proyecto es determinar si la incorporación de la interactividad en un pseudo-holograma aporta un valor añadido medible frente a una versión estática, especialmente en el ámbito educativo. Para ello, no solo se construyó el prototipo, sino que también se comparó de forma directa y empírica la percepción de los usuarios, su comprensión del contenido y su motivación al usar ambos tipos de holograma.

4. METODOLOGÍA

La metodología a seguir en este trabajo de investigación se divide en distintas fases. En primer lugar, se hará un estudio exhaustivo de los trabajos precedentes relacionados con el tema, que se proyectará en el marco teórico a continuación.

Se construirá una pirámide holográfica, con el material que se haya considerado más oportuno tras la primera investigación, para reflejar imágenes de un smartphone o pantalla. Se incorporarán sensores con el fin de conseguir que el holograma reaccione al movimiento de la mano, consiguiendo una mayor interactividad.

Tras la elaboración de la parte práctica, se evaluará cómo perciben los participantes la diferencia entre la interacción con un holograma frente a la observación de la misma. La contrastación de la hipótesis se realizará mediante un estudio comparativo en dos fases:

1. Visualización de un holograma estático.
2. Visualización del mismo contenido en un holograma interactivo controlado por sensores.

Después de ambas experiencias, los participantes completarán un cuestionario para medir diferencias en percepción, comprensión, motivación e interés. La comparación de ambas encuestas permitirá evaluar de forma objetiva si la interactividad proporciona una experiencia más enriquecedora que la observación pasiva.

Finalmente, se explorará cómo podría aplicarse el diseño en educación o entretenimiento.

5. MARCO TEÓRICO

Los pseudo-hologramas permiten representar información tridimensional de forma intuitiva, lo que los hace especialmente valiosos en aplicaciones educativas y de divulgación científica. Por ejemplo, pueden mostrar un átomo rotando, una célula ampliada o la anatomía de un corazón; visualizar sistemas planetarios o moléculas en 3D; o permitir que los visitantes de un museo interactúen con modelos como un esqueleto humano o una maqueta arquitectónica sin necesidad de piezas físicas. Estas aplicaciones permiten entender la relevancia del proyecto y justifican el estudio de los pseudo-hologramas y su potencial interactivo.

5.1. ¿Qué es un pseudo-holograma? Limitaciones y diferencias

Se define un holograma como una placa fotográfica o imagen óptica obtenida mediante holografía. La holografía, a su vez, se define como una técnica fotográfica que, mediante iluminación por láser, permite obtener imágenes tridimensionales en color (Asale & Rae, s.f.).

Estos términos, acuñados por un ingeniero y físico llamado Dennis Gabor (Gabor, 1949, p. 456), provienen etimológicamente de la combinación de dos palabras griegas: *"holos"* ("todo") y *"gramma"* ("mensaje" o "escrito"), y de derivados de estas, uniéndose para crear un mensaje o imagen completos.

Un holograma, también llamado *"wavefront reconstruction"* (reconstrucción del frente de onda), funciona dividiendo un rayo láser en dos partes: una ilumina el objeto a reproducir y el rayo difractado incide sobre una placa fotográfica. La otra parte se refleja en la placa fotográfica mediante un espejo plano. De este modo se obtiene un patrón de interferencia complejo en la placa. El resultado final se denomina holograma (Raza & Sharma, 2012, p. 184). Finalmente, para reconstruir el objeto, se revierte el proceso anterior, y el holograma acaba siendo iluminado por un solo rayo láser (Raza & Sharma, 2012, p. 185).

Según los objetivos definidos, una de las prioridades principales a tener en cuenta es mantener en todo momento la accesibilidad del producto. El coste de realizar un holograma mediante el método tradicional explicado previamente puede exceder los presupuestos de la mayoría de las instituciones de educación, sobre todo en países con un bajo índice de desarrollo. Esto se debe a que el precio de un holograma puede fácilmente llegar a los miles de dólares debido a su necesidad de hardware específico.

Afortunadamente, no es necesario usar rayos láser para simular un holograma. Se pueden usar técnicas diferentes a la holografía que proyecten una imagen tridimensional o una representación visual que simula la apariencia de un holograma. Las reproducciones de un objeto mediante estas técnicas se denominan pseudo-hologramas, y tienen un coste mucho menor.

El 24 de diciembre de 1862, un fantasma se presentó en el escenario del Royal Polytechnic Institution. Se trataba de la primera instancia pública del después popularizado efecto pseudo-holográfico Pepper's ghost (Rojas Amador, 2017), en honor al científico e inventor inglés John Henry Pepper (17 de junio de 1821- 25 de marzo de 1900).

A pesar de la gran conmoción causada por la aparición del espectro fantasmal, la causa de ésta no fue magia, sino ciencia; la ilusión funcionaba gracias a un escenario iluminado, un vidrio a 45º y un sector a oscuras que ocultaba un espejo. De esta forma, al iluminar el sector del espejo, el "fantasma" se reflejaba en el vidrio del escenario y aparecía en escena (Linaldelli, n.d.).

Esta técnica evolucionó hasta la llamada "pirámide holográfica", que consiste en una pirámide fabricada en un material transparente que concentra la luz de una imagen o vídeo que se reproduce en su base (Monsuton, s. f.).

5.1.1. Principios físicos

Para entender realmente cómo percibe esto el ojo humano, se debe indagar en el campo de la óptica:

La refracción de la luz es el cambio de dirección y velocidad que experimenta una onda de luz al pasar de un medio a otro, alterando la trayectoria natural de los fotones. Es por esto por lo que al sumergir un objeto recto parcialmente en un vaso de agua, éste parece estar doblado, y la explicación de por qué un rayo de sol se descompone en sus muchas longitudes de onda cuando se incide sobre un prisma de vidrio (Britannica Editors, 2025).

Se denomina índice de refracción al cociente de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio cuyo índice se calcula (Burbano de Ercilla, Burbano García & Gracia Muñoz, 2003). Es una medida usada para indicar la varianza de la velocidad de la onda, en este caso de luz, dentro del medio estudiado. Para mayor índice de refracción, mayor desviación de la luz. En el caso del metacrilato o el plexiglás acrílico, el índice de refracción es aproximadamente 1,49 (ver tabla 1) (DukeAcrylic, s. f.) (Mollon, s.f.).

	n_1	n_2
Material	Aire	Plexiglás acrílico/Metacrilato
Índices de refracción	$1,00029 ; \simeq 1$	$\simeq 1,49$

Tabla 1: Comparación de índices de refracción del aire y el metacrilato, elaboración propia.

Cuando la luz se refleja en un material con mayor índice de refracción que el medio en el que viaja sufre un cierto desfase. Por el contrario, si se refleja en un material con un índice de refracción menor, la luz reflejada está en fase con la luz incidente, manteniendo el mismo desfase que tenía previo a la reflexión.

El comportamiento de la refracción viene descrito por la ley de Snell (fig. 1), que relaciona los índices de refracción con los ángulos de incidencia (reflexión) y de salida (refracción) de los fotones (Abdel Razek, 2020).

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

Figura 1: Ley de Snell, elaboración propia.

En una pirámide holográfica, la imagen o vídeo reproducido en su base expone píxeles que emiten luz en distintas direcciones, y cierta cantidad de luz atraviesa los lados de la pirámide, efectuando la refracción (ver flechas rojas en fig. 2), pero también la reflexión (ver flechas azules fig. 2).

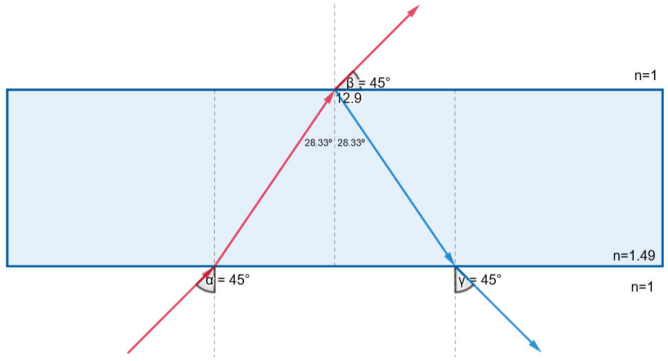


Figura 2: Representación de los ángulos y rayos de refracción y reflexión de la secuencia aire-acetato-aire, elaboración propia.

Una vez el rayo de luz pasa a un medio con menor densidad, el rayo se divide y una parte de menor intensidad sale reflejada con el mismo ángulo con el que incidió. Esto es conocido como la ley de reflexión. El resto del rayo sale refractado.

Cuanto más se inclina el ángulo de incidencia, más cantidad de luz se refleja, hasta llegar al ángulo crítico. Tomando la base como una pantalla, y por tanto como la fuente de luz inicial, los rayos de luz provenientes de los píxeles de la pantalla se disparan hacia arriba y salen reflejados al impactar contra la pirámide, para ser captados por nuestros ojos (fig. 3).

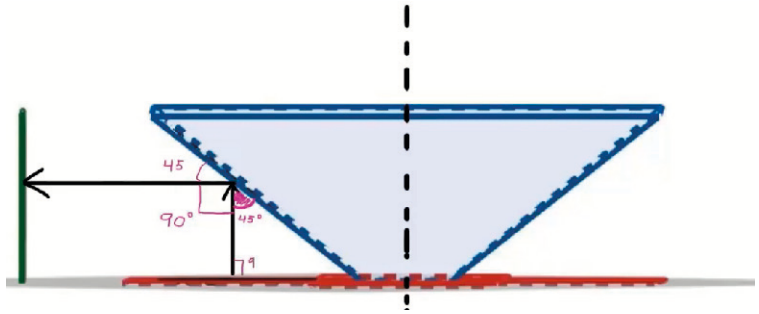


Figura 3: Justificación del ángulo de inclinación de la cara de la pirámide, fuente: La Física de los Hologramas caseros (https://www.youtube.com/watch?v=GUV2d5DHa6I).

Debido a que el objetivo de la pirámide holográfica es que se pueda ver desde el punto de vista del ojo el objeto holográfico de pie, el ángulo de incidencia debe ser igual al ángulo de reflexión (fig. 4).

$$\theta_1 = \theta_2$$

Figura 4: Ley de la Reflexión, elaboración propia.

El único caso en el que esto sería posible si se pretende que la luz forme un ángulo de 90º es si los ángulos de incidencia y reflexión son de 45º. Por lo tanto, la inclinación que debe haber entre el eje vertical que parte a la pirámide holográfica desde el centro y cada cara de la pirámide debe ser de 45º.

Es por esto que, al construir la imagen a reflejar, se debe multiplicar y rotar la imagen por cada cara de la pirámide, para que el proceso de reflexión y refracción de la luz producida por los píxeles sea posible (Sitio que avisa se unificaron, 2021).

Espectrofotométricamente, se debe considerar la densidad óptica del material, esto es, la capacidad del material para bloquear el paso de la luz o reducir su velocidad.

Matemáticamente, la densidad óptica *(DO)* se expresa mediante el logaritmo de base 10 de la inversa de la transmitancia, que es la fracción de luz incidente que logra atravesar la muestra. La transmitancia *(T)*, a su vez, se define como la relación entre la intensidad de la luz transmitida *(I)* y la intensidad de la luz incidente *(I_0)* (Óptica Naranjo, 2024) (fig. 5).

$$DO = \log_{10}\left(\frac{1}{T}\right) \qquad T = \frac{I}{I_0}$$

Figura 5: Fórmulas de densidad óptica *(DO)* y transmitancia *(T)*, elaboración propia.

Si la luz penetra un material con mayor densidad óptica, sufrirá un desfase hacia la línea normal, que es una línea perpendicular a la superficie. En caso contrario, se alejará de la misma. En caso del plexiglás o metacrilato (PMMA), su transmitancia de luz es mayor al 90%, lo que lo hace ideal para una alta visibilidad (Murillo, 2023).

5.2. Microcontroladores y procesamiento de datos

La Real Academia de Ingeniería define un microcontrolador como chip procesador de propósito especial diseñado y construido para gestionar una determinada tarea específica, y que está constituido por una unidad central de procesamiento, memoria propia, canales de entrada/salida *(puertos)* y temporizadores (RAING, s. f.). Estas son las principales unidades funcionales de un ordenador.

Los microcontroladores de hardware libre son dispositivos electrónicos basados en circuitos integrados programables, cuyos diseños y especificaciones son de acceso público (Securitas Direct, 2023), permitiendo su modificación, copia y distribución por cualquier persona.

Algunas de las plataformas de desarrollo basadas en microcontroladores de hardware libre más populares son las placas Arduino.

Arduino es una plataforma electrónica de desarrollo y de código libre. Es un hardware libre, distribuido bajo una licencia *Creative Commons* accesible desde la página web de Arduino. Esto permite al público copiar, distribuir y modificar la placa, incluso con fines comerciales, siempre que se atribuya al creador original y que cualquier obra derivada se distribuya bajo la misma licencia o una similar (Creative Commons, s.f.).

Consiste en dos partes, hardware y software, en las que se prioriza la sencillez y facilidad de uso.

El hardware de Arduino consiste de una tarjeta en forma de circuito impreso *(PCB)*, fabricada de un material no conductor. Cuenta con pistas hechas de conductores para conectar eléctricamente los componentes soldados a la placa.

Sus placas electrónicas incorporan un microcontrolador re-programable que varía según el modelo, así una serie de pines hembra que permiten la conexión a diferentes sensores y actuadores. Los pines disponibles se dividen en digitales y analógicos; los primeros manejan información binaria (0/1) y los segundos señales continuas que pueden tomar un rango de valores. El número de pines varía según el modelo.

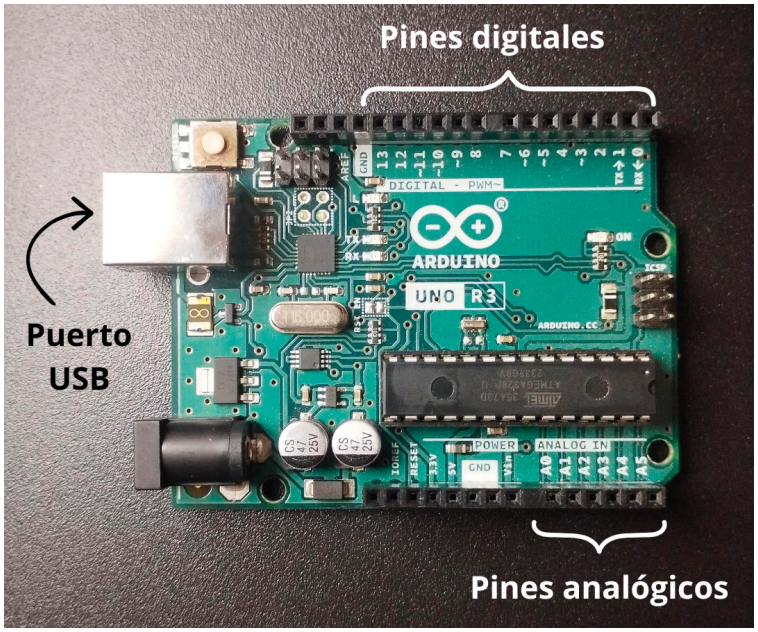


Figura 6: Partes de la placa Arduino UNO, elaboración propia.

Por ejemplo, los Arduino UNO R3 y R4 constan de 6 pines analógicos (fig. 6) (Arduino, s. f.; Arduino.cl, s. f.).

Otros componentes cruciales son el puerto USB, que permite subir programas al microcontrolador mediante un cable, y los pines Power y GND, que proporcionan 3,3, 5 voltios y tierra como referencia para los circuitos (Ismailov & Jo'rayev, 2022).

Arduino es famoso por su adaptabilidad. En el mercado existe un amplio catálogo de modelos de placas Arduino, entre los que destacan Arduino Nano, Leonardo, Mega y Uno, cada uno orientado a diferentes necesidades educativas y técnicas (Arduino.cl, s. f.). Por defecto, la placa recomendada para principiantes suele ser Arduino UNO.

Catálogo oficial de placas Arduino:

https://www.arduino.cc/en/hardware/#classic-family

(El acceso se facilita también mediante el código QR adjunto para su consulta en formato papel).

Tabla 2: QR al catálogo de Arduino, elaboración propia.

El modelo más documentado actualmente es el R3, que utiliza el microcontrolador ATmega328 y el ATmega16u2 para la comunicación USB, con ratios de transferencia más rápidos y mayor memoria. La tarjeta trabaja con todos los shields existentes y puede ser adaptado a nuevos (Arduino.cl, s. f.).

Actualmente, el Arduino UNO más reciente es el R4 (Mínima y WiFi). Estos comparten algunas mejoras respecto al Arduino UNO R4, como un mayor rendimiento, mayor capacidad de memoria y mejor resolución en la conversión analógica-digital, pero también añade mejoras específicas como una depuración avanzada en R4 Mínima y conectividad inalámbrica en R4 WiFi.

El código de los programas usados para las placas Arduino se denomina *sketch*. Los sketches se programan en el IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) de Arduino, una aplicación de software que une en una sola interfaz un editor de código fuente, un compilador y un depurador con el objetivo de aumentar la productividad de los desarrolladores. El código de programas de Arduino puede ser escrito en C o C++.

5.3. Interacción hombre-máquina

Una interfaz de usuario (UI) es el medio por el cual una persona controla una aplicación de software o, como en este caso, un dispositivo de hardware (Lenis, 2023).

En sistemas interactivos basados en proyección pseudo-holográfica, la interacción hombre-máquina se fundamenta en la captación de acciones físicas del usuario y su traducción a señales digitales interpretables por el sistema. La elección de la interfaz y de los sensores asociados condiciona el tipo de interacción posible (gestual, posicional, táctil o visual), así como la precisión, la latencia y la naturalidad de la experiencia interactiva.

Para que la proyección pseudo-holográfica reaccione a las acciones del usuario (como gestos, voces o movimientos), es necesaria una interfaz interactiva. De esta forma, se establece una comunicación bidireccional entre el usuario y el sistema, y el usuario podrá realizar acciones sobre la interfaz y recibir retroalimentación inmediata por parte del sistema (Agencia de marketing digital, s. f.). En otras palabras, la interfaz interactiva hace que ciertos sensores permitan al usuario realizar acciones físicas, como mover la mano, y que el sistema responda inmediatamente con un cambio en la proyección holográfica.

Para implementar esta interacción, el sistema puede apoyarse en distintos tipos de sensores, desde dispositivos de detección de movimiento simples hasta soluciones más avanzadas basadas en visión artificial o sensores capacitivos.

Un sensor convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica analógica o digital susceptible de ser procesada por un sistema electrónico y presentada posteriormente de forma comprensible para el usuario (Smith, 2025).

Entre los muchos tipos de sensores, para la interfaz interactiva se necesitarán los de movimiento.

Los sensores de movimiento son dispositivos electrónicos diseñados para detectar la presencia o movimiento de objetos o personas en un área específica, usando diferentes tecnologías para percibir esos movimientos (Soler & Palau, 2024).

Un joystick (fig. 7) es un dispositivo de entrada que transforma el movimiento mecánico de un operador y lo convierte en una salida eléctrica, proporcionando información posicional dentro de un sistema de coordenadas que tiene valores máximos y mínimos absolutos en cada eje de movimiento (Microsoft, 2023).

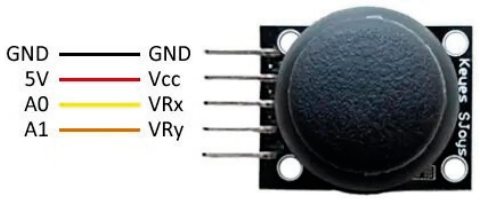


Figura 7: Conexión del joystick, modificado de https://www.luisllamas.es/arduino-joystick/

Un módulo de joystick produce un output de aproximadamente 2,5V del eje X al Y cuando está en posición de reposo. Al mover el joystick, el output variará de 0V a 5V dependiendo de la dirección. Esto es posible gracias a dos potenciómetros ortogonales, cada uno indicando un eje, marcados como rectángulos en la figura 8. (LaskaKit, s. f.).

El código para hacer funcionar el joystick es sencillo y accesible fácilmente en internet.

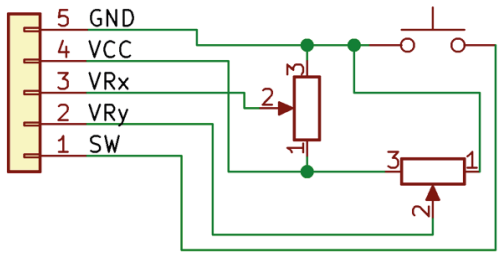


Figura 8: Esquema interno del joystick, fuente: https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/joystick-con-arduino/

Los sensores PIR, o infrarrojos pasivos, aprovechan la energía térmica que emiten los objetos en forma de radiación infrarroja, detectando los niveles de estos mediante la comparación de la temperatura que desprende un objeto con la de su alrededor (Microsegur, s.f.). Esta radiación no es visible para el ojo humano debido a que se emite en longitudes de onda infrarrojas.

Existen distintos módulos de sensores PIR, siendo el normalmente más accesible el sensor PIR HC-SR501 para Arduino y Raspberry Pi. Estos sensores constan de dos partes principales: un sensor piroeléctrico y una lente Fresnel que enfoca las señales infrarrojas en el sensor piroeléctrico.

Un sensor piroeléctrico consiste en una ventana con dos ranuras rectangulares. Está hecho de un material que, como la silicona recubierta, permite el paso de la radiación infrarroja. Detrás de la ventana hay dos electrodos de sensores infrarrojos separados, responsables de producir la salida positiva y negativa, cableados de manera que se anulan entre sí para buscar cambios en los niveles de IR. Cuando no hay movimiento alrededor del sensor, ambas ranuras detectan la misma cantidad de radiación infrarroja, resultando en una señal de salida cero. Cuando, en cambio, pasa un cuerpo caliente, éste es interceptado por una mitad del sensor, provocando un cambio diferencial positivo entre las dos mitades. Luego es registrado por la otra mitad del sensor y sale de la región de detección, provocando un cambio diferencial positivo. La lectura de este cambio de voltaje implica detección del movimiento.

La lente de Fresnel, denominada así por su inventor, el físico francés Augustin-Jean Fresnel, es una lente fina y ligera formada por anillos concéntricos (SeguriLatam, 2023). Su función es aumentar el rango y campo de visión del sensor PIR. Sus series de ranuras concéntricas talladas en plástico actúan como superficies de refracción individuales, reuniendo rayos de luz paralelos en un punto focal. Por lo tanto, una lente Fresnel pequeña puede enfocar la luz de manera similar a una lente óptica convencional. Para aumentar el rango y el campo de visión del sensor PIR, el lente se divide en secciones de facetas, cada una de las cuales es un lente Fresnel separado, creando varias zonas de detección intercaladas entre sí (Paguayo, 2022).

El módulo PIR HC-SR501 consta de tres pines que se deben conectar al microcontrolador Arduino adecuadamente. (Llamas, s. f.).

Los sensores ultrasónicos o de ultrasonidos miden la distancia entre el sensor y un objeto. Para ello, el cabezal del sensor emite cíclicamente una onda sonora corta y de alta frecuencia, que se propaga en el aire con la velocidad del sonido. Este pulso es reflectado por el objeto cuando incide en él, regresando de nuevo al sensor de ultrasonido. A continuación, la sonda ultrasónica calcula internamente la distancia hasta el objetivo, mientras que mide el tiempo entre el envío y la recepción de la onda ultrasónica (Wenglor, s.f.).

El módulo predominante para Arduino y Raspberry Pi es el sensor ultrasónico HC-SR04, que cuenta con cuatro pines y dos transductores ultrasónicos.

En la parte frontal del ultrasónico hay dos cilindros de metal denominados transductores. Los transductores convierten las fuerzas mecánicas en señales eléctricas: uno actúa como transmisor, convirtiendo la señal eléctrica en pulsos de sonido ultrasónico de 40 KHz, mientras el otro actúa como receptor y escucha los pulsos transmitidos (Solectro, 2021). Finalmente, el receptor produce un pulso de salida, gracias al cual se puede determinar la distancia recorrida por el pulso (KEYENCE, s.f.).

Los sensores duales combinan la tecnología de los sensores PIR y ultrasónicos para unos resultados más exactos.

El sensor APDS-9960 es un sensor de gestos, proximidad, color y luz ambiental, apto para placas Arduino y Raspberry Pi. La detección de gestos sin contacto permite detectar un objeto moviéndose a 5-20cm, detectando gestos de izquierda, derecha, arriba, abajo, cerca y lejos. Además, incorpora filtros de UV e IR, con ganancia y tiempo de integración controlado por software y una alta sensibilidad.

Para la detección de movimientos, el APDS-9960 compara las variaciones de luz registrada en cada uno de los cuatro fotodiodos direccionales de los que dispone, pudiendo estimar el movimiento frente al sensor. Adicionalmente, mide la cantidad de luz infrarroja registrada para estimar la distancia a la que el objeto está frente al sensor, y los sensores RGB del dispositivo permiten que actúe como colorímetro y luxómetro (Luis Llamas, s. f.). Gracias a que el sensor se comunica con el microcontrolador mediante la interfaz I2C, dispone de mayor simplicidad en el cableado, capacidad de conexión a múltiples dispositivos y flexibilidad en la configuración.

El sensor VL53L0X (ver fig. 9) es un sensor de distancia infrarrojo láser basado en tecnología ToF *(Time of Flight)*, capaz de medir distancias entre 50 mm y 2000 mm. Su funcionamiento se basa en la emisión de un pulso láser de luz infrarroja y la medición del tiempo que tarda el haz en reflejarse en un objeto y regresar al sensor, permitiendo calcular con exactitud la distancia al obstáculo.

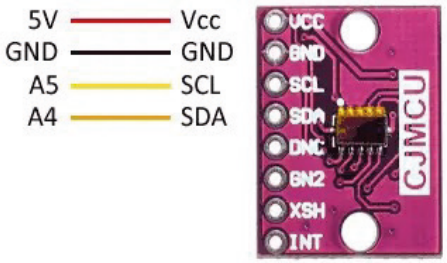


Figura 9: Conexión del VL53L0X, modificado de https://www.luisllamas.es/arduino-sensor-distancia-vl53l0x/

A pesar de ser uno de los mejores sensores de distancia disponibles actualmente por su precisión superior, su principal limitación radica en el estrecho ángulo de detección que posee, dificultando la detección de objetos fuera del eje directo al haz (Luis Llamas, s. f.).

El MPR121 es un controlador de sensores táctiles capacitivos que ofrece hasta 12 entradas táctiles independientes. Estos sensores funcionan midiendo la capacidad eléctrica entre el sensor y un objeto conductor cercano, como un dedo. Cuando un objeto se acerca al sensor, altera el campo eléctrico y, por lo tanto, la capacitancia (Magyar, 2021).

Esto permite al sensor detectar el contacto sin necesidad de presión física directa.

Cuenta con inteligencia interna para calibración automática, filtrado y detección por proximidad, además de operar a bajo consumo (NXP Semiconductors, 2014). Para la medición de la capacitancia, el dispositivo carga y descarga cada uno de los electrodos de forma secuencial, aplicando una pequeña corriente y midiendo el decaimiento de la tensión. La medición obtenida pasa por 3 filtros: los dos primeros eliminan el ruido de la medición y el tercero proporciona una medición de referencia. Cuando se compara el valor tras el segundo filtro con la referencia proporcionada por el tercero, se pueden detectar variaciones rápidas en la capacitancia en los electrodos (Luis Llamas, s. f.). Al comunicarse mediante una interfaz I2C, permite integrar múltiples electrodos táctiles con solo dos cables.

OpenCV es una librería de computación visual para el procesamiento de imágenes en Python, un lenguaje de programación de alto nivel, permitiendo desarrollar aplicaciones eficientemente. Esta biblioteca proporciona herramientas para la realización de diferentes operaciones de procesamiento de imágenes entre las cuales se encuentran el reconocimiento facial, la detección de movimiento y el seguimiento de objetos (Imagina Formación, 2024), que en este proyecto se aplica al seguimiento de gestos mediante una cámara conectada al sistema.

Dado que el procesamiento de imágenes con OpenCV requiere ejecutar código en Python y trabajar con video en tiempo real, se necesita un sistema con mayor capacidad computacional que Arduino. Raspberry Pi, por lo tanto, actuaría como intermediaria entre la cámara, el procesamiento con OpenCV y el envío de datos al entorno interactivo (Oliynyk, 2025).

Como dispositivo de captura, se hace uso de una PiCamera conectada a una tarjeta Raspberry Pi (Sandoval Gutiérrez, 2021.). Esta cámara permite sacar fotos y grabar video en alta definición, pudiendo conectarla directamente a la placa mediante la interfaz CSI (Camera Serial Interface) (ElectronicWings, s.f.), optimizada para la transmisión de datos de imagen.

Entre las soluciones comerciales para la detección de gestos, se encuentra el Leap Motion Controller, un dispositivo compacto equipado con dos cámaras infrarrojas y LEDs, capaz de realizar un seguimiento tridimensional de manos y dedos con alta precisión en un volumen de hasta 110 cm de profundidad y un ángulo de visión de aproximadamente 160 x 160 grados (Ultraleap Ltd., s.f.).

No obstante, este dispositivo no se emplea en el presente proyecto, utilizándose como referencia tecnológica frente a las soluciones basadas en sensores de bajo coste y visión artificial desarrolladas.

La combinación de distintos tipos de sensores permite diseñar una interfaz hombre-máquina flexible y adaptable, ajustando el sistema a diferentes niveles de complejidad, coste y naturalidad en la interacción, en función de los objetivos del proyecto.

5.4. Unity y renderizado 3D

Unity es un motor de videojuego con IDE para crear experiencias interactivas. A pesar de que usualmente las experiencias son videojuegos, también se puede usar para crear simulaciones, entornos interactivos y experiencias en tiempo real. Actualmente, es el motor de videojuegos más usado en el mundo.

Unity es famoso por su accesibilidad y su diseño multiplataforma, haciéndolo más versátil para los desarrolladores. El desarrollo de una experiencia en Unity es especialmente rápida comparada con otros motores, y la arquitectura de los componentes de Unity es intuitiva y fácil de entender (Šmíd, 2017, p. 11).

Unity es gratuito, y se puede descargar en su página web oficial. Para facilitar su uso y el aprendizaje sobre su interfaz, disponen de tutoriales oficiales que familiarizan al usuario con el editor de Unity mediante proyectos activos.

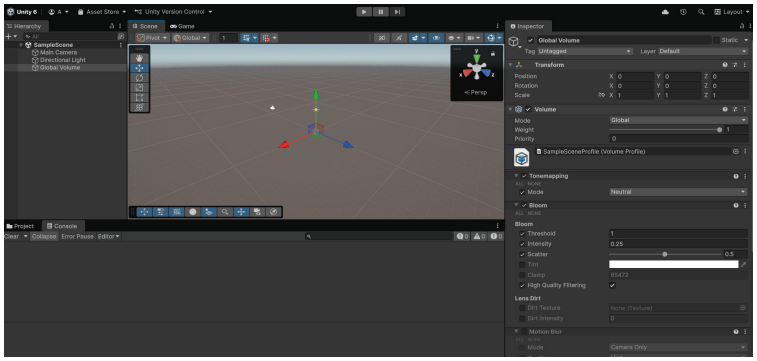


Figura 10: Editor de Unity, elaboración propia.

El editor de Unity (fig. 10) consta de varias ventanas, mostradas en la figura 11. Las más usadas son el Navegador de Proyectos (*Project Browser*, marcado en amarillo), Inspector (*Inspector*, marcado en azul), Vista de Juego *(Game View)*, Vista de Escena (*Scene View*, marcado en verde) y Jerarquía (*Hierarchy*, marcado en rojo).

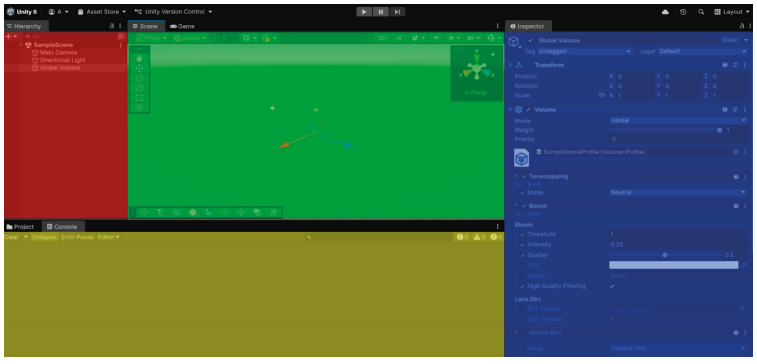


Figura 11: Partes del editor de Unity, elaboración propia.

El navegador de proyectos contiene todos los *assets* disponibles para su uso. Su distribución es casi idéntica al explorador de archivos de Windows, haciendo la experiencia más intuitiva.

El inspector contiene los detalles de cada objeto *(GameObject)*. Se usa para ver y modificar cualquiera de los componentes adjuntos al objeto. En esta ventana se muestran también las variables escritas en código para ser manipuladas.

La vista de juego ofrece una vista previa de cómo su juego o experiencia será visto por el jugador. Permite probar cambios de forma temporal, sin necesitar alterar el código principal para funcionar.

La vista de escena es donde el juego o experiencia se construye. Permite visualizar el plano de la experiencia, pudiendo añadir *assets* desde el navegador de proyectos. La experiencia de desarrollo es intuitiva gracias a los controles 3D y el ajuste de cuadrícula.

Por último, la ventana de jerarquía contiene un listado de todos los objetos en la escena actual. Esta lista es actualizada automáticamente cuando un objeto se añade en la escena. Además, los objetos pueden ser agrupados en subgrupos *padres* e *hijos*.

Una característica única de Unity son las propiedades visuales *(visual properties)*, que permiten modificar directamente variables públicas sin tocar el código. Esto hace el proceso de conseguir el valor correcto más sencillo y rápido, y facilita la modificación de la variable para programadores principiantes (Haas, s.f., p. 20).

En cuanto al renderizado 3D, Unity soporta renderizado en tiempo real, donde la escena, los materiales, luces y objetos se procesan cuadro a cuadro para generar la imagen que ve el usuario. Además, se utiliza Unity Render Streaming en algunos estudios para transmitir experiencias de realidad virtual o entornos interactivos sobre redes Wi-Fi, manteniendo latencias aceptables gracias a servidores edge y protocolos como WebRTC (Casasnovas et al., 2024).

En comparativas académicas, Unity destaca por presentar menores requisitos de hardware, mayor eficiencia en escenarios simples o moderados, y tiempos de aprendizaje más cortos. Por ejemplo, en un estudio sobre consumo energético entre Unity y Unreal Engine, Unity demostró consumos significativamente menores en tareas físicas *("physics")* y

escenarios estáticos *("static meshes")* para cargas livianas, lo que lo hace más adecuado cuando se busca eficiencia y menor coste energético (Pérez et al., 2024).

Blender es un software 3D multifunción. Ofrece funcionalidades completas para modelado, renderizado, animación, creación y visualización de contenido 3D.

Blender está dirigido a profesionales y artistas, pudiendo ser utilizado para crear visualizaciones de espacios tridimensionales, imágenes estáticas y videos de alta calidad. Incorpora un motor 3D en tiempo real, que permite crear contenido 3D interactivo para reproducción *stand-alone* (UDESC, s. f.). Blender puede ser descargado en su página web oficial de forma gratuita.

Blender y Unity son compatibles y usados comúnmente uno con el otro. Los objetos o *prefabs* de Unity son limitados, lo que hace necesario el uso de otros softwares externos para crear objetos personalizados. Gracias a que Unity permite importar objetos mediante archivos externos, Blender puede ser utilizado para modelar el *asset* u objeto, y ser añadido a la escena del editor de Unity posteriormente. Estas prácticas son usadas para todo tipo de experiencias, como videojuegos educativos (Méndez et al., s.f.).

5.5. Aplicaciones prácticas de los pseudo-hologramas

Los pseudo-hologramas son más económicos y sencillos que los hologramas reales, pero no necesariamente tienen menos aplicaciones. Estas características han permitido que los pseudo-hologramas se empleen en diversos ámbitos donde la interacción visual y la experiencia inmersiva son importantes.

Entre los campos donde se han utilizado, destacan la educación, la medicina y el marketing. Ciertos ejemplos incluyen:

En el ámbito de la educación, se combinó el uso de una pirámide holográfica y Leap Motion para el aprendizaje de lengua de señas coreana en 3D. Al permitir visualizar gestos tridimensionales, mejora la comprensión frente al vídeo o imágenes estáticas (Kim et al., 2025). Por otro lado, se realizó un estudio en institutos sobre el uso de medios holográficos en la enseñanza de geometría. Este estudio recibió respuestas positivas de profesores, indicando que el uso de hologramas 3D en geometría a niveles de instituto es altamente práctico. Entre los resultados, destacan una mayor interactividad con el profesor y una mayor facilidad de entendimiento hacia conceptos geométricos más avanzados (Kaharuddin et al., 2023).

En medicina, se emplean para visualizar imágenes de diagnóstico en 3D y para formación en anatomía, permitiendo a los profesionales observar estructuras complejas de manera intuitiva (Kim et al., 2022; Moro et al., 2020).

Finalmente, en marketing, los pseudo-hologramas se usan para experiencias interactivas de productos, como la visualización de relojes o ropa en 3D, mejorando la satisfacción del cliente y la percepción del producto (Morillo et al., 2019).

En resumen, los pseudo-hologramas se utilizan como recursos visuales que mejoran la comprensión, la atención y la implicación del usuario frente a soportes tradicionales.

6. HIPÓTESIS

Esta investigación aborda el diseño y la construcción de un sistema pseudo-holográfico interactivo, priorizando la accesibilidad y la posible aplicación en contextos educativos. Una vez desarrollado el prototipo, se plantea la siguiente hipótesis de trabajo:

La incorporación de sensores de movimiento en el holograma permite generar una experiencia de usuario más atractiva en comparación con una proyección pseudo-holográfica estática.

En el contexto de este proyecto, *una experiencia más atractiva* se define operativamente como un aumento en los siguientes aspectos, en relación con la versión estática del holograma:

- la claridad percibida del contenido representado,
- el nivel de atención, motivación e implicación del usuario,
- la facilidad para explorar y comprender el objeto proyectado.

Estos parámetros se evaluarán mediante un cuestionario específico administrado a los participantes tras la interacción con ambos sistemas, tal y como se describe en el apartado 8.

7. IMPLEMENTACIÓN METODOLÓGICA Y DESARROLLO DEL SISTEMA

En este capítulo se describe el diseño, implementación e integración del sistema interactivo desarrollado en este proyecto, aplicando de forma práctica la metodología planteada en el apartado 4. Se detallan los criterios de selección de materiales y componentes, la arquitectura hardware–software del sistema, el proceso de codificación e integración de sensores, así como las fases de construcción del prototipo y las principales dificultades encontradas durante su desarrollo.

7.1. Selección de materiales y componentes

Para la construcción de la pirámide holográfica, se seleccionó PMMA transparente (acrílico óptico) como material principal para las caras debido a su combinación de propiedades ópticas, estructurales y prácticas.

El PMMA presenta una transmitancia de luz cercana al 92%, suficiente para asegurar imágenes nítidas en el efecto holográfico. Aunque el vidrio también ofrece alta transparencia, su mayor peso y fragilidad lo hacen menos adecuado para un prototipo portátil.

Al ser aproximadamente un 50% más ligero que el vidrio, el PMMA facilita el montaje y transporte del dispositivo. Al no astillar en fragmentos cortantes al romperse, se reducen riesgos en manipulación y se aumenta la seguridad. Puede cortarse y pulirse fácilmente con herramientas de taller como láseres y sierras, permitiendo la fabricación de las caras de la pirámide con precisión sin necesidad de maquinaria industrial compleja.

Es un material económico y de amplia disponibilidad en planchas de diferentes grosores, siendo ideal un grosor de entre 2 y 3 milímetros para obtener un equilibrio entre transparencia y estabilidad estructural, evitando que las caras se doblen o deformen.

Tras considerar todos los sensores descritos en el punto 5.2 del marco teórico, se escogieron en un primer momento los sensores APDS-9960 y VL53L0X como los más indicados para este proyecto. No obstante, debido a que el sensor APDS-9960 no ofrece una experiencia completamente fluida, se decidió prescindir de él e incorporar un joystick analógico, por ser también intuitivo y ofrecer más fluidez. Los puntos a tener en cuenta en la consideración y comparación de sensores han sido accesibilidad, estética, intuitividad y coste. Uno de los mayores objetivos planteados para este proyecto es mantener la accesibilidad de los materiales una de las prioridades más importantes, con el fin de que la tecnología pueda ser usada en lugares con menos recursos y presupuesto. Debido a lo anterior, tecnologías como el Leap Motion Controller y el OpenCV fueron descartadas por necesitar una mayor potencia y capacidad en cuanto al hardware, y por su coste más elevado, a pesar de los resultados más precisos y estéticos que pueden ofrecer. El uso de los sensores descartados podría ser estudiado en futuras líneas de investigación. La comparación de sensores se puede encontrar en los anexos.

Finalmente, para el control del sistema se eligió Arduino como plataforma electrónica. Arduino es un microcontrolador económico, de código abierto, ampliamente documentado y compatible con una gran variedad de sensores, incluidos el VL53L0X y los joysticks analógicos. Su ecosistema de librerías simplifica el desarrollo y reduce el tiempo necesario para la programación y la depuración. Además, es una tecnología habitual en centros educativos y proyectos de bajo coste, lo que facilita que cualquier docente pueda replicar o adaptar el montaje sin requerir conocimientos avanzados de ingeniería.

La elección de materiales y componentes se realizó en coherencia con los objetivos específicos del proyecto, buscando siempre un equilibrio entre funcionalidad, sencillez y coste. Esta selección permitió construir el prototipo estático, incorporar las funciones interactivas necesarias para la comparación posterior y asegurar que todo el sistema pueda reproducirse en entornos educativos con recursos limitados. De este modo, los elementos escogidos garantizan un dispositivo accesible y técnicamente viable dentro del marco planteado.

7.2. Configuración del entorno de desarrollo

Para el desarrollo del sistema interactivo se configuró un entorno que permitiera la comunicación en tiempo real entre los sensores físicos y el entorno virtual holográfico. Este entorno integra Arduino, Python y Unity, cada uno cumpliendo un rol específico dentro del flujo de datos.

Arduino actúa como el sistema de adquisición de datos. En él se conectaron y programaron los sensores seleccionados. El código en Arduino envía lecturas continuas a través del puerto serial USB, empleando una tasa de baudios adecuada para garantizar una transmisión fluida de datos.

Python actuó como intermediario entre Arduino y Unity. Se utilizó la librería pyserial para recibir los datos enviados por Arduino desde el puerto COM. Tras procesar y estructurar las lecturas, Python las envía a Unity mediante sockets TCP/IP, permitiendo mantener una comunicación bidireccional y en tiempo real.

Este enfoque facilita la modularidad del sistema, ya que Unity no necesita comunicarse directamente con el hardware, simplificando la depuración y el mantenimiento. Además, es una alternativa sencilla y gratuita al accesorio que necesita Unity para leer puertos COM.

Unity se configuró como el entorno visual y de interacción. Debido a que el holograma funciona gracias al principio Pepper's Ghost, las cuatro caras necesarias para ser reflejadas en la pirámide se renderizan en Unity. Mediante un script en C#, Unity recibe los datos transmitidos desde Python y los interpreta para modificar las propiedades del holograma (posición, rotación, escala, etc.).

Para comprobar el correcto funcionamiento de la comunicación entre los sensores, Python y Unity, se creó un modelo tridimensional de prueba: un cubo con cada una de sus caras de un color diferente, diseñado en Blender. El cubo fue exportado desde Blender en formato *.fbx* e importado a Unity como un *asset*. Esta diferenciación cromática permitió verificar visualmente los cambios de orientación y posición del objeto durante las pruebas de interacción.

La posición de las cámaras se logró gracias a un *asset* de Unity disponible en Github, cuyo acceso se facilita en los anexos. Este *asset* posiciona las cámaras creando un "cubo", pudiendo introducir el objeto a proyectar dentro del cubo y renderizando el objeto en las cuatro caras necesarias para la proyección (fig 12).

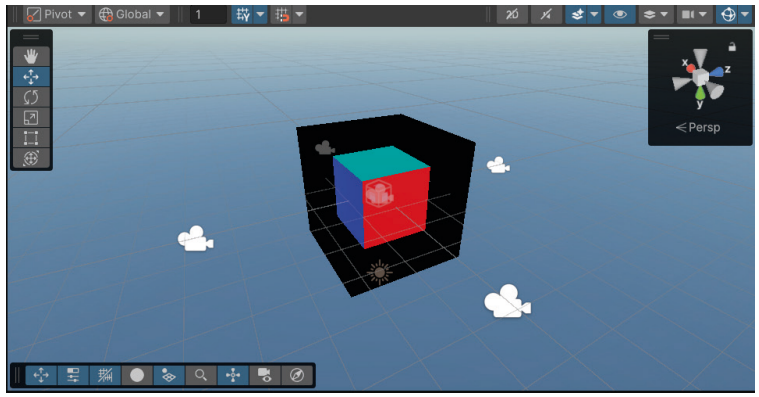


Figura 12: Visión del cubo dentro del espacio de cámaras, elaboración propia.

Antes de que se formen las cuatro imágenes al completo, muestra el cuadrado que queda en el medio, facilitando la posición de la pirámide, antes de desaparecer gradualmente (fig. 13).

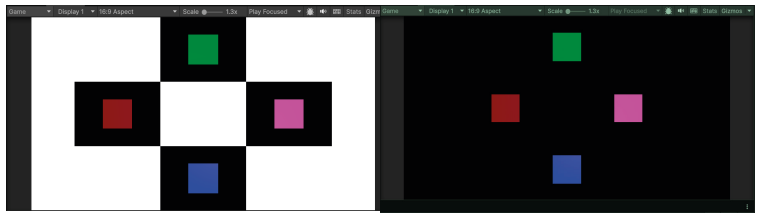


Figura 13: Proyección inicial y final, elaboración propia.

7.3. Codificación e integración de sensores

Para la adquisición de datos del sistema interactivo, se empleó una placa Arduino encargada de leer tanto las señales analógicas del joystick como la distancia medida por el sensor VL53L0X, un sensor ToF *(Time-of-Flight)* de alta precisión. El objetivo fue unificar las tres lecturas en un único paquete de datos y enviarlo vía comunicación serie a Python, para su posterior procesamiento y visualización en Unity.

Para el programa se utilizó la librería estándar Wire.h para habilitar la comunicación I2C y la librería VL53L0X.h para controlar el sensor de distancia.

Antes de iniciar el bucle principal, en la función *setup()* se estableció la comunicación serie a 9600 baudios y se inicializó el sensor. Asimismo, se configuró un *timeout* para evitar bloqueos en caso de fallo del sensor, se comprobó su correcta conexión y se ajustó el *measurement timing budget* a 50 ms. También se definieron dos entradas analógicas (A0 y A1) para la conexión del joystick bidireccional.

En cada iteración del *loop()* se leyeron los valores del joystick mediante *analogRead()*. El valor *xVal*, con rango 0–1023, representó el desplazamiento horizontal, mientras que *yVal* representó el desplazamiento vertical. Estos datos se emplearon posteriormente para controlar el movimiento del objeto holográfico en la escena.

El sensor ToF se leyó usando *readRangeSingleMillimeters()*, obteniendo la distancia en milímetros. Se implementaron varias medidas de corrección: en caso de timeout se asignó un valor de error (–1), y las distancias fuera del rango útil (25–400 mm) se recortaron a 400 mm. Esta normalización evitó que picos de ruido afectaran negativamente a la interacción.

Para facilitar la integración con Python y Unity, las tres lecturas se enviaron en un formato unificado y consistente (fig 14).

```
xVal, yVal, distancia
```

Figura 14: Formato de lecturas, elaboración propia.

Cada paquete se envió como una línea independiente por el puerto serie, permitiendo una lectura sencilla y en tiempo real desde Python. Se incluyó un retardo de 50 ms para limitar la tasa de muestreo a ~20 Hz, lo cual es suficiente para una interacción fluida sin saturar el canal de comunicación.

El código Arduino completo utilizado para implementar todo este proceso se incluye íntegramente en los anexos.

El módulo intermedio entre Arduino y Unity se implementó en Python, cuya función principal es actuar como un puente estable y de baja latencia. Python recibe los datos enviados por Arduino a través del puerto serie, los valida y los retransmite a Unity mediante el protocolo UDP, que resulta adecuado para aplicaciones interactivas en tiempo real.

Para establecer la conexión con Arduino se utilizó la librería serial (pySerial). El programa abre el puerto serie correspondiente a la placa (en este caso, *COM11*) con una velocidad de 9600 baudios y un *timeout* de 1 segundo para evitar bloqueos.

Una vez inicializado el puerto, el programa espera datos en formato texto enviados por Arduino, con el formato señalado anteriormente.

El código comprueba constantemente si hay datos disponibles *(in_waiting > 0)* y, en caso afirmativo, lee y decodifica la línea.

Para comunicar Python con Unity, se utilizó un socket UDP sencillo. Se configuró especificando dirección IP y puerto.

Se empleó UDP debido a sus ventajas para este tipo de proyectos, como su baja latencia, la adecuación a datos que se actualizan constantemente y la falta de necesidad de confirmación de recepción, acelerando la transmisión.

En el bucle *while True*, el sistema realiza tres tareas clave:

1. Lectura del dato actual desde Arduino: Cada línea recibida se limpia usando *.decode().strip()* y se valida para asegurarse de que no está vacía.
2. Registro en consola: Para depuración, el programa imprime la línea que va a enviarse a Unity, permitiendo verificar en tiempo real que los sensores están funcionando correctamente.
3. Envío por UDP a Unity: El texto completo *"x, y, distancia"* se envía directamente como cadena codificada en UTF-8. Unity, por su parte, solo necesita leer la cadena y separarla para actualizar el objeto holográfico.

Se incluye un pequeño retraso de 10 ms *(time.sleep(0.01))* para evitar saturar el CPU y regular la frecuencia de transmisión.

El código incorpora un bloque *try-except* para prevenir que errores de decodificación, pérdida momentánea del puerto serie, o valores corruptos detengan el programa. En caso de error, se imprime en consola el motivo exacto, permitiendo un diagnóstico sencillo sin interrumpir el flujo general.

La implementación completa del script en Python se incluye en los anexos.

La integración final del sistema se realizó en Unity, donde se visualiza el pseudo-holograma y se aplican en tiempo real las transformaciones provenientes de los sensores. Para recibir los datos enviados por Python a través de UDP y convertirlos en cambios de escala y rotación del objeto 3D, se desarrolló un script en C# que se ejecuta dentro del motor de juego.

Unity utiliza un objeto *udpClient* configurado para escuchar en el puerto 5005, el mismo utilizado por Python para enviar información. La recepción se programó de forma asíncrona mediante *BeginRecieve()*, lo cual evita bloquear el hilo principal y permite que la escena continúe ejecutándose a 60 FPS.

Gracias al formato con el que llegan los paquetes de datos, con valores separados mediante *split (',')*, estos son convertidos en flotantes para su uso posterior.

Los valores del joystick provienen de Arduino en un rango 0-1023, pero Unity trabaja con valores más apropiados para desplazamientos normalizados. Por ello, se resta 512 (el punto medio) y se divide entre 512 para obtener un valor entre -1 y 1.

Además, se implementa una zona muerta (dead-zone) configurable entre 0 y 0.2. Los movimientos pequeños del joystick se ignoran para evitar vibraciones o movimientos involuntarios del holograma.

Cada nuevo paquete de datos de joystick produce una actualización en la rotación del objeto. La rotación usa solo los ejes X e Y para mantener un control intuitivo. Se aplica usando *transform.Rotate()*, en espacio global (WORLD) para obtener una rotación estable, y está escalada por un parámetro ajustable *rotationSensitivity*, que permite modificar la intensidad del movimiento.

Con esto, el usuario puede manipular el pseudo-holograma inclinándolo y girándolo mediante el joystick físico.

Los valores del sensor VL53L0X se usan para cambiar dinámicamente el tamaño del objeto, simulando que el holograma crece o se retrae dependiendo de la proximidad del usuario. El proceso es:

1. Normalizar la distancia con *Mathf.InverseLerp(400, 50, distancia)* para obtener un valor entre 0 y 1.
2. Interpolar entre la escala mínima y máxima *(minScale y maxScale)*.
3. Aplicar el cambio suavizado con una interpolación temporal *(Mathf.Lerp)* para evitar saltos bruscos.
4. Actualizar *transform.localScale*.

Esto da como resultado una transición fluida y natural del tamaño del holograma.

Para evitar errores al cerrar la aplicación, se incluye un control mediante la variable isClosing, que detiene las recepciones UDP pendientes.

En *OnApplicationQuit()* se cierra el socket correctamente, evitando excepciones o bloqueos al finalizar la ejecución.

El script completo que implementa todo este procesamiento se incluye en los anexos.

7.4. Fases de construcción

La construcción del prototipo se desarrolló de manera progresiva, combinando el diseño físico de la estructura con la integración del hardware electrónico, asegurando en todo momento la funcionalidad y estabilidad del sistema.

El proceso comenzó con el desarrollo del hardware, verificando que todos los sensores funcionaran correctamente antes de su integración. Se utilizaron cables tipo jumper siguiendo los esquemas recomendados por los fabricantes, conectando el sensor VL53L0X y el joystick a la placa Arduino. Mientras que el joystick empleó entradas analógicas, el VL53L0X utilizó comunicación I2C.

Cada módulo se probó individualmente desde el monitor serial para garantizar mediciones fiables y estables, evitando interferencias antes de proceder a la integración con el software.

Paralelamente, se construyó la pirámide de proyección, pieza central del prototipo. Su diseño siguió la geometría óptica descrita en el punto 5.1.1. del marco teórico, con un ángulo de 45º, y se adaptó a las limitaciones del uso de un portátil como pantalla de proyección. La pirámide se fabricó en PMMA, con base 20 cm y altura 14 cm. Las planchas usadas fueron de 2 mm de grosor, cortadas con cuter y regla mediante la aplicación de presión y ensambladas primero con celo transparente y posteriormente con pegamento instantáneo especial para metacrilato. Esta fase fue clave para lograr una proyección clara y fiel a la geometría óptica prevista.

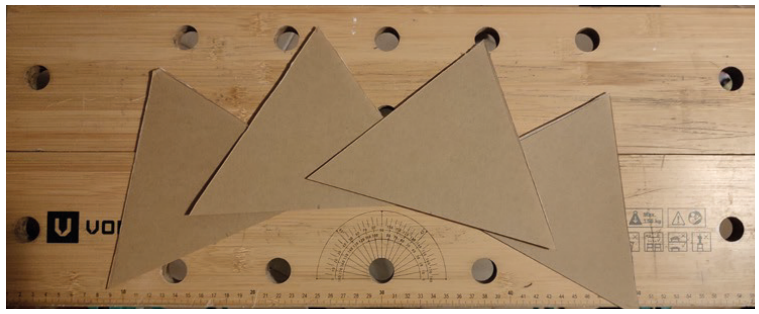


Figura 15: Piezas de la pirámide cortadas, elaboración propia.

Con el objetivo de planificar con precisión el prototipo, se diseñó una maqueta digital en Tinkercad que incluía el portátil, los sensores y la pirámide, permitiendo anticipar ajustes y tomar medidas exactas. Estas medidas fueron posteriormente usadas para diseñar en un papel las piezas separadas y sus medidas, que están adjuntas en los anexos del proyecto.

Inicialmente se consideró el uso de impresión 3D, pero debido al tamaño final del prototipo se optó por planchas de cartón prensado rígido de 5 y 3 mm de grosor. Estas planchas de cartón reciclado favorecieron la sostenibilidad del trabajo. Siguiendo las medidas previamente planteadas, se prosiguió a marcar y cortar las piezas usando una sierra manual para la mayoría de estas, exceptuando los orificios laterales, que se perforaron primero con una taladradora y posteriormente se terminaron de cortar con la sierra. Posteriormente, se limaron todos los bordes para un acabado limpio. Las columnas de soporte se construyeron con madera cuadrada de 2x2 cm. Ciertas piezas, como las columnas de soporte, fueron perforadas previamente para facilitar la inserción del tornillo (fig. 16).



Figuras 16 y 17: Perforación de las columnas y enfoque de anclaje, elaboración propia.

El ensamblaje siguió un orden lógico: base inferior, laterales, base superior, columnas, parte trasera, soporte del portátil y finalmente la pieza inclinada con los orificios para los sensores. El anclaje de las piezas se llevó a cabo usando restos de las columnas de madera previamente cortadas, y con una técnica de refuerzo de esquina: se coloca un bloque de madera dentro de dos piezas que forman un ángulo o esquina, de manera que queda oculta; desde la parte exterior de la pieza visible, se introduce un tornillo que atraviesa la pieza y se ancha en el bloque interno, logrando una unión fuerte sin que se vea el tornillo desde fuera (fig. 17).

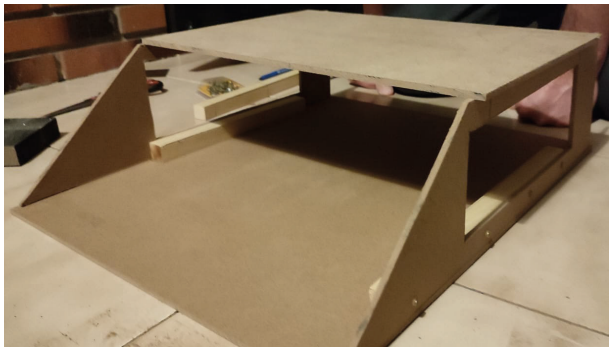


Figura 18: Prototipo en proceso de construcción, elaboración propia.

Una vez el prototipo estuvo lo suficientemente desarrollado (fig. 18), se hizo una prueba piloto de su funcionamiento para asegurar el correcto funcionamiento de la pirámide.

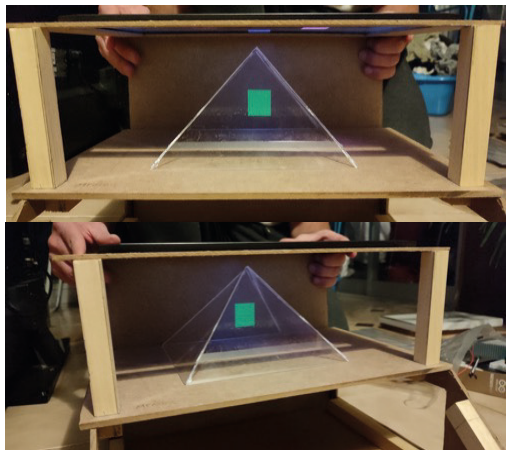


Figura 19: Vistas del holograma estático en proceso, elaboración propia.

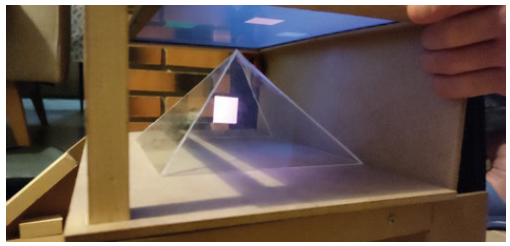


Figura 20: Vista lateral del holograma estático, elaboración propia.

Las planchas de cartón se pintaron con pintura negra mate para mejorar el contraste de la proyección y lograr un acabado visualmente atractivo. Para corregir imperfecciones y crear apoyos adicionales en el portátil, se reutilizaron restos de las planchas, asegurando la estabilidad y funcionalidad del prototipo. De esta forma se aseguró también la zona más frágil del prototipo. Como pegamento, se reutilizó el sobrante de pegamento instantáneo usado para la pirámide y se usaron pinzas de sujeción, creando presión entre las piezas para un pegado más fuerte y duradero.



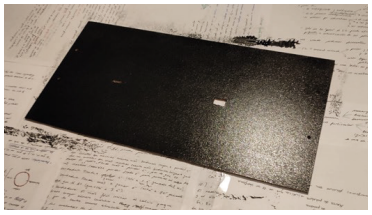
Figura 21: Prototipo pintado sin pieza lateral, elaboración propia

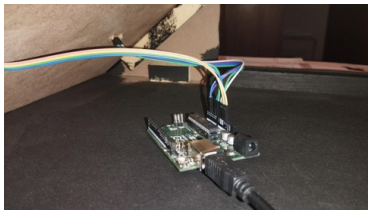


Figura 22: Últimos retoques del prototipo, elaboración propia

Para facilitar la integración de los sensores, se pintó la pieza inclinada por separado, para poder fijarla finalmente con los sensores instalados y conectar todos los componentes a la placa Arduino.

Con la estructura y los sensores integrados, se verificó el flujo de datos completo: desde Arduino a Python, de Python a Unity y finalmente a la pantalla de proyección. Durante las pruebas finales, se confirmó que los movimientos detectados por los sensores se traducían en tiempo real en transformaciones del holograma, incluyendo rotación y cambio de tamaño, validando así la funcionalidad completa del prototipo interactivo.





Figuras 23 y 24: Pieza inclinada pintada y placa conectada en el interior del prototipo, elaboración propia.

Cada etapa del montaje se realizó con especial atención a la organización de los cables y a la estabilidad de los elementos, asegurando que el sistema fuera seguro, accesible, y fiable para las pruebas con usuarios.

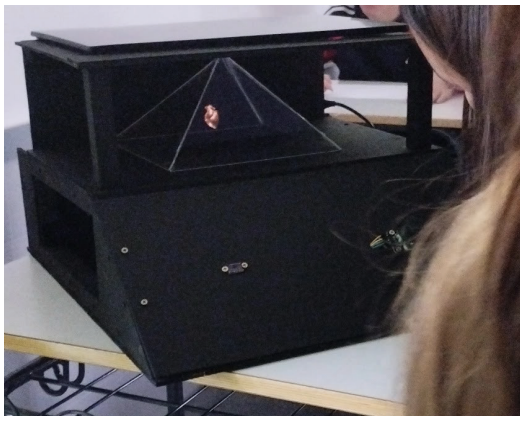


Figura 25: Prototipo en funcionamiento en una clase de instituto, elaboración propia.

7.5. Dificultades encontradas y soluciones

Durante el desarrollo del proyecto se presentaron diversas dificultades técnicas y logísticas que requirieron soluciones específicas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Una de las primeras complicaciones fue la configuración de inactividad del ordenador, que provocaba apagados automáticos durante las pruebas. Esto se solucionó ajustando los parámetros de energía para mantener el equipo operativo de forma continua.

Otros problemas surgieron con la conexión del Arduino: la debilidad del puerto y del cable hacían arriesgado mover el portátil durante las pruebas, por lo que se decidió utilizar un ratón externo y mantener el equipo fijo sobre la estructura del prototipo, evitando interferencias en la conexión. Aún así, se recomienda usar una superficie de apoyo estable.

El sensor APDS9960 no funcionó correctamente al recibirlo. Consecuentemente, se optó por prescindir de él y centrarse en el joystick y el sensor VL53L0X para la interacción. Este último requería además ser soldado a los cables jumper, ya que de otro modo no establecía contacto con la placa Arduino ni era detectado correctamente en el IDE, lo que se resolvió con ayuda de una tienda de reparación de electrónica.

En cuanto a la muestra de usuarios, una limitación se presenta en que se trabajó con 93 participantes, un número limitado que podría condicionar la fuerza estadística de los resultados y que se debe tener en cuenta al interpretar las conclusiones.

Finalmente, uno de los principales retos fue lograr el contraste necesario para que la proyección fuera nítida. Usar un monitor habría requerido un equipo más caro y complicaría la accesibilidad del proyecto, uno de sus objetivos fundamentales. Como alternativa, se empleó un portátil para proyectar la imagen, lo que llevó a adaptar la estructura del prototipo a esta solución más práctica, económica y original, sin precedencia anterior. No obstante, limitó considerablemente el tamaño de la proyección, ya que la pantalla no se podía situar en el centro del prototipo, sino que el prototipo tenía que ajustarse a la pantalla.

7.6. Instrucciones de uso del prototipo

Los objetos que se deseen proyectar deben ser modelos tridimensionales de los mismos, tal y como el cubo usado para pruebas en el apartado 7.2. Se puede encontrar una gran variedad de modelos gratuitos en Internet, tales como los incluidos en los anexos. Los modelos adjuntos en los anexos fueron los incluidos en las clases a las que se asistió para la prueba de interactividad con alumnos.

Preferiblemente, los modelos deberían estar en formato *.fbx* o *.obj* ya que Unity los importa como *assets* con mayor facilidad; no obstante, en caso de tener un modelo con otra extensión se puede pasar a alguna de estas dos extensiones mediante Blender o buscar en los manuales de Unity la solución documentada para su importación.

La importación se realiza copiando los contenidos descargados del modelo, tanto el modelo como las texturas y materiales, en la carpeta *Assets* de Unity desde el explorador de archivos (fig. 26). Es muy importante que todas las carpetas *.zip* estén descomprimidas. Tras pegar los contenidos en la carpeta o en una subcarpeta dentro de la misma, Unity reconocerá automáticamente los modelos y los convertirá en *assets*.

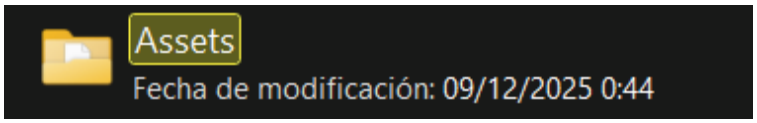


Figura 26: Carpeta *Assets* de Unity, elaboración propia.

El *asset* debe ser puesto en escena y colocado en el centro del cubo de cámaras adjunto en los anexos. La posición se puede modificar en la ventana *Inspector* del editor. Se recomienda tener abiertas lado a lado las ventanas *Scene* y *Game* o intercambiarlas frecuentemente para asegurar que las vistas se posicionen correctamente en el centro de los cuadrados negros, ya que modificar los valores de posición a *0, 0, 0* no siempre deja el *asset* en el medio. Desde la vista ofrecida por *Game*, la imagen superior debe aparecer invertida. Si no es así, se debe rotar la imagen (fig. 27). El tamaño se puede modificar al gusto del usuario, teniendo en cuenta que si se excede cierto límite el modelo se saldrá del cubo de cámaras que lo renderizan y no aparecerá proyectada. Esto es especialmente pertinente a la hora de rotar la imagen con los sensores.

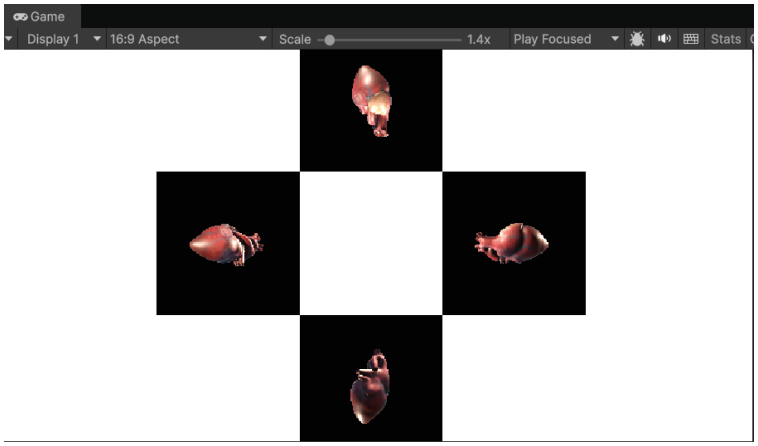


Figura 27: Vistas de un modelo de corazón, elaboración propia.

Al objeto en escena se le debe añadir el *script* que permitirá la interacción con los sensores. Este *script* se puede añadir haciendo click derecho en la ventana *Project*, siguiendo los pasos de la figura 28. El nombre del código creado debe ser *VL53AndJoystickUDP*. A continuación, desde la ventana *Inspector* se debe pegar el código incluido en los anexos. El *script* creado se debe arrastrar al objeto a proyectar.

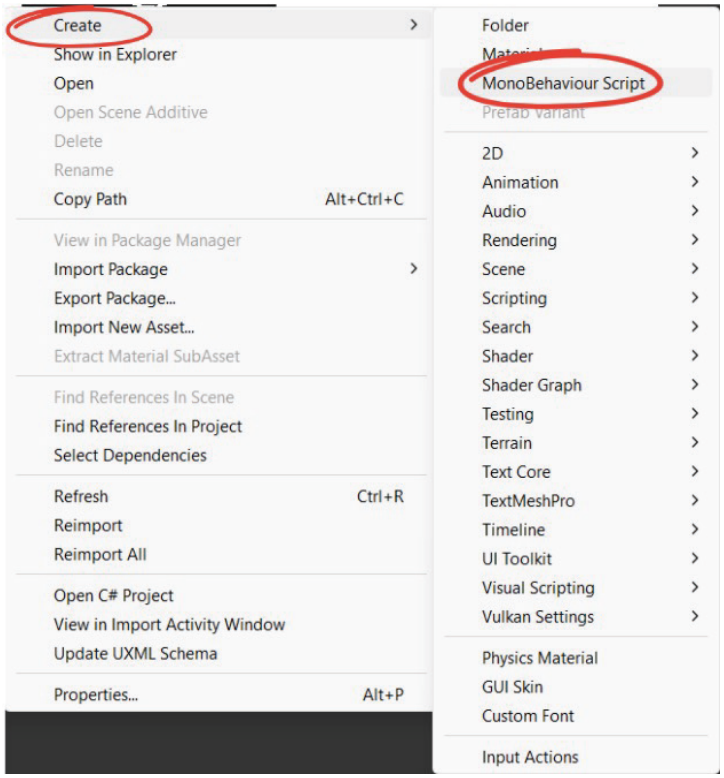


Figura 28: Creación de un *MonoBehaviour Script*, elaboración propia.

Finalmente, se puede probar conectando el sensor: se introduce el código en anexos en Arduino IDE y en Python, correspondientemente.

Para cubrir la pantalla completa, se debe presionar *Ctrl+B*, y se iniciará la pantalla completa. Para salir, se presiona el icono de Windows para retomar el control de la pantalla. Los sensores se deben iniciar antes del paso anterior.

Para cambiar de modelo a proyectar fácilmente, se puede guardar cada escena independientemente, arrastrando la que se decida usar a la ventana *Hierarchy*. Solo puede haber una escena en la ventana para que funcione correctamente. Antes de iniciar la pantalla completa, se debe comprobar que la escena correspondiente está seleccionada presionando *Ctrl+Shift+B* y buscando la escena en *Scene List*. Si no aparece, se debe presionar *Open Scene List* y *Add Open Scenes* (fig. 29).

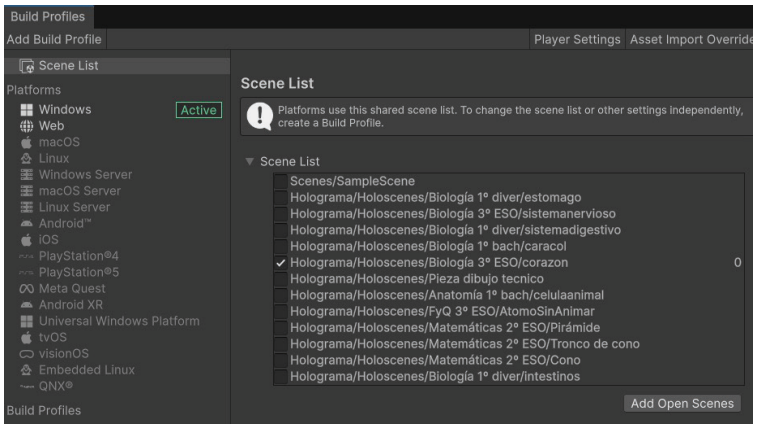


Figura 29: *Scene List* con la escena del corazón seleccionada, elaboración propia.

Con el fin de facilitar la comprensión del funcionamiento del sistema, se ha elaborado un vídeo demostrativo en el que se muestra el uso completo del prototipo y su respuesta ante la interacción del usuario. Dicho material audiovisual se incluye en los anexos y puede consultarse mediante el enlace y el código QR proporcionados.

8. ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL ESTUDIO DE INTERACTIVIDAD

8.1. Diseño del cuestionario y procedimiento

Para evaluar el impacto de la interactividad en la experiencia del usuario, se diseñó un cuestionario específico orientado a comparar dos condiciones experimentales: la visualización de un pseudo-holograma estático y la interacción con una versión dinámica controlada mediante joystick y sensor de distancia.

El cuestionario fue elaborado para recoger información tanto cuantitativa como cualitativa, combinando preguntas cerradas tipo Likert, con una escala del 1 al 5, y preguntas abiertas. Esta estructura permitió analizar no solo las valoraciones numéricas de los participantes, sino también sus percepciones, sensaciones y sugerencias respecto a ambas versiones del sistema.

Las preguntas se organizaron en torno a cuatro dimensiones fundamentales:

- la comprensión del contenido representado,
- la claridad visual del holograma,
- el nivel de motivación e interés,
- y la facilidad de uso del sistema.

Para cada una de estas dimensiones se formularon ítems específicos, redactados con el objetivo de detectar diferencias claras entre la experiencia estática y la experiencia interactiva.

El procedimiento experimental se llevó a cabo en dos fases consecutivas. En primer lugar, cada participante observó el holograma estático y completó la primera parte del cuestionario, centrada en evaluar su percepción inicial. A continuación, los participantes interactuaron con el holograma dinámico, pudiendo controlar su rotación y escala mediante el joystick analógico y el sensor de distancia VL53L0X. Tras esta segunda experiencia, completaron la parte final del cuestionario, diseñada para evaluar el impacto de la interactividad.

Con el fin de facilitar la aplicación del cuestionario en el contexto real de aula y permitir que la evaluación se realizara inmediatamente después de la experiencia con el prototipo, el cuestionario fue administrado en formato impreso. Esta elección permitió una recogida de datos ágil y controlada durante la sesión de prueba del equipo. Posteriormente, las respuestas obtenidas fueron volcadas manualmente a una hoja de cálculo, donde se realizó el tratamiento y análisis de los datos de forma sistemática.

Esta secuencia garantizó que cada participante actuase como su propio referente de comparación y que las valoraciones se basaran en experiencias recientes y directamente comparables, reduciendo posibles sesgos derivados del tiempo transcurrido entre ambas evaluaciones.

8.2. Resultados descriptivos de la experiencia

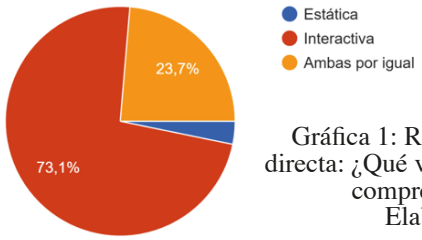
La muestra estuvo formada por 93 estudiantes, la mayoría de los cuales no tenía experiencia previa con hologramas ni con sistemas de visualización interactiva (58,1%). Las respuestas obtenidas permitieron analizar de forma diferenciada la percepción del holograma estático y del holograma interactivo.

En el caso del holograma estático, los resultados mostraron una valoración moderadamente positiva. La comprensión del contenido representado obtuvo puntuaciones medias y altas, y la mayoría de los participantes consideró la proyección nítida y cómoda de observar. No obstante, varias respuestas señalaron como posible mejora el aumento del tamaño de la proyección. En términos de motivación, aunque el interés general fue positivo, solo un 17,2% indicó que la versión estática incrementaba claramente su atención hacia el contenido mostrado.

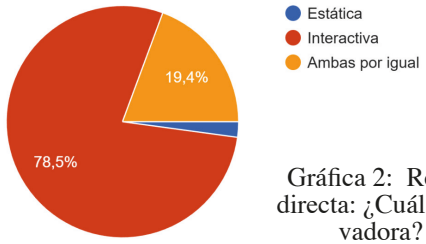
Por el contrario, los resultados correspondientes al holograma interactivo reflejaron mejoras significativas en todas las dimensiones evaluadas. Un 72% de los participantes afirmó comprender mejor la estructura representada mediante la versión interactiva. Asimismo, un 68,8% indicó que poder mover y acercar la imagen facilitó notablemente la comprensión del contenido.

La claridad visual durante la interacción, la facilidad de uso del joystick y el funcionamiento intuitivo del sensor de distancia recibieron puntuaciones altas. En cuanto a la motivación, un 71% consideró la versión interactiva más atractiva que la estática, y un 64,5% manifestó haberse sentido más implicado al poder manipular directamente la imagen proyectada.

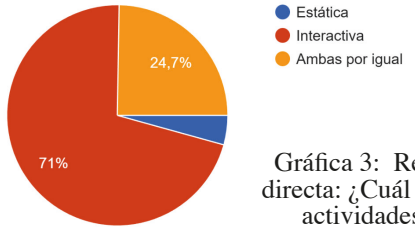
En la comparación directa entre ambas versiones, un 73,1% de los estudiantes señaló que la versión interactiva les ayudó más a comprender el contenido, un 78,5% la consideró más motivadora y un 71% la eligió como preferida para futuras actividades educativas.



Gráfica 1: Respuesta de comparación directa: ¿Qué versión te ha ayudado más a comprender el contenido? Elaboración propia.



Gráfica 2: Respuesta de comparación directa: ¿Cuál te ha resultado más motivadora? Elaboración propia.



Gráfica 3: Respuesta de comparación directa: ¿Cuál preferirías usar en futuras actividades? Elaboración propia.

8.3. Análisis de fiabilidad y margen de error

Con el fin de evaluar la fiabilidad de los resultados obtenidos a partir del cuestionario aplicado a los participantes, se ha realizado un análisis basado en el cálculo del margen de error para proporciones. Este enfoque permite estimar la precisión de los porcentajes observados en la muestra y valorar hasta qué punto los resultados podrían variar si el estudio se repitiera con una muestra similar (Newcombe & Merino-Soto, 2006).

Dado que los datos analizados proceden de un cuestionario de percepción y preferencias, cuyos resultados se expresan en forma de porcentajes (por ejemplo, el porcentaje de estudiantes que prefieren el holograma interactivo frente al estático), el tratamiento estadístico más adecuado es el correspondiente a proporciones. En este tipo de estudios descriptivos no se trabaja con medias de variables continuas ni con desviaciones típicas, sino con frecuencias relativas derivadas de respuestas categóricas o escalas tipo Likert resumidas en proporciones (Newcombe & Merino-Soto, 2006).

El margen de error para proporciones se calcula mediante la siguiente expresión:

$$E = Z \times \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

Figura 30: Fórmula de margen de error, elaboración propia.

donde:

- E es el margen de error,
- Z es el valor de la distribución normal estándar asociado al nivel de confianza elegido,
- p es la proporción observada en la muestra,
- n es el tamaño de la muestra.

En este estudio se ha empleado un nivel de confianza del 95 %, que corresponde a un valor Z=1,96 . La muestra está formada por 93 estudiantes del IES Guadarrama, por lo que n=93. Como proporción representativa se ha utilizado el porcentaje de estudiantes que indicaron que la versión interactiva del holograma les ayudó más a comprender el contenido, que fue del 73,1 %, es decir, p=0,731.

Sustituyendo estos valores en la expresión anterior se obtiene:

$$E = 1,96 \times \sqrt{\frac{0,731 \cdot (1 - 0,731)}{93}} \approx 0,09$$

Figura 31: Cálculo del valor del margen de error, elaboración propia.

Por tanto, el margen de error del estudio es aproximadamente ±9 %. Esto significa que, con un 95 % de confianza, la proporción real de estudiantes que prefieren el holograma interactivo se encuentra dentro de un intervalo de ±9 puntos porcentuales respecto al valor observado.

La aplicación de este método es adecuada para estudios de carácter descriptivo y exploratorio, como el presente, cuyo objetivo principal es comparar percepciones y preferencias entre dos condiciones experimentales (holograma estático e interactivo) dentro de una misma muestra de participantes. El margen de error permite evaluar la fiabilidad de los porcentajes obtenidos sin introducir complejidad estadística innecesaria (LimeSurvey, 2024).

No se ha utilizado la prueba estadística de chi-cuadrado, ya que este test se emplea para analizar la relación entre variables categóricas independientes. En este estudio, las comparaciones se realizan sobre una misma muestra de estudiantes tras dos experiencias consecutivas, por lo que no se cumple el supuesto de independencia necesario para aplicar dicha prueba. Además, el objetivo del trabajo no es contrastar hipótesis inferenciales complejas, sino analizar de forma comparativa y descriptiva el impacto de la interactividad en la experiencia del usuario (JMP, s. f.).

En consecuencia, el uso del margen de error para proporciones resulta un método más coherente con el diseño del experimento, el tipo de datos recogidos y el nivel del proyecto. Este enfoque proporciona una medida clara de la fiabilidad de los resultados y permite fundamentar las conclusiones del estudio sin recurrir a análisis estadísticos más avanzados que no se ajustan a la naturaleza del trabajo.

8.4. Discusión de resultados

Los resultados del estudio comparativo muestran una diferencia clara a favor del holograma interactivo frente al holograma estático. En casi todos los aspectos analizados (comprensión, claridad visual, motivación e implicación) la versión interactiva obtuvo mejores valoraciones por parte de los participantes.

La comprensión del contenido mejora cuando el usuario puede interactuar con el holograma. La posibilidad de rotar el objeto y modificar su tamaño ayudó a muchos estudiantes a entender mejor la estructura representada, confirmando la hipótesis inicial del proyecto, según la cual la interacción activa facilita la percepción de objetos tridimensionales frente a una observación pasiva.

En cuanto a la claridad visual, aunque el holograma estático fue valorado positivamente, algunos participantes señalaron dificultades para apreciar detalles o un tamaño insuficiente. Estas limitaciones se redujeron en la versión interactiva, ya que el control del tamaño permitió adaptar la visualización a las necesidades del usuario en cada momento.

Las mayores diferencias se observaron en la motivación y el interés. La mayoría de los participantes consideró la experiencia interactiva más atractiva y mostró mayor interés por este tipo de actividades. El control físico del sistema hizo que los usuarios se sintieran más implicados en la experiencia.

Desde el punto de vista metodológico, el margen de error calculado indica que, aunque los resultados no son exactos de forma absoluta, las tendencias observadas son consistentes y no se deben al azar. Incluso teniendo en cuenta dicho margen, las diferencias entre ambas versiones siguen siendo relevantes.

Como limitación, cabe señalar que el tamaño de la muestra y el carácter subjetivo del cuestionario restringen la generalización de los resultados. No obstante, para un estudio exploratorio, los datos obtenidos son suficientes para extraer conclusiones fundamentadas.

En conjunto, los resultados apoyan la hipótesis del trabajo: la incorporación de interactividad mediante sensores de bajo coste mejora la experiencia del usuario y aumenta la comprensión y la motivación, demostrando que es posible desarrollar soluciones educativas eficaces sin recurrir a tecnologías complejas o de alto coste.

9. CONCLUSIONES

En este proyecto se ha logrado diseñar, construir e implementar un prototipo funcional de proyección pseudo-holográfica interactiva a partir de la aplicación directa de principios científicos de óptica, electrónica y procesamiento de señales. La comprensión del fenómeno óptico asociado al efecto *Pepper's Ghost*, junto con el funcionamiento de sensores, microcontroladores y entornos gráficos 3D, ha permitido desarrollar una solución técnica coherente que integra diseño físico, hardware y software.

El principal desafío del trabajo ha sido la creación de un sistema completo capaz de generar un holograma estable y controlable, empleando tecnologías accesibles y de bajo coste, y resolviendo problemas reales de integración entre el entorno físico y el entorno virtual. Desde una perspectiva ingenieril, el proyecto ha requerido tomar decisiones de diseño estructural, selección de componentes, arquitectura del sistema y gestión de la comunicación de datos en tiempo real, garantizando la funcionalidad global del prototipo.

El sistema desarrollado se basa en una estructura óptica diseñada específicamente para la proyección pseudo-holográfica y en una arquitectura electrónica que permite la interacción mediante sensores conectados a una placa Arduino. La correcta comunicación entre Arduino, Python y Unity demuestra la viabilidad técnica del sistema y valida la arquitectura planteada como una solución funcional y reproducible.

Una vez verificado el correcto funcionamiento del prototipo, se llevó a cabo un estudio comparativo para evaluar el impacto de la interactividad en la experiencia del usuario. Los resultados obtenidos muestran que la incorporación de control físico en tiempo real mejora de forma significativa la comprensión del contenido representado y aumenta la implicación y motivación del alumnado frente a la visualización estática.

Aunque el holograma estático ya permitía una representación clara de la estructura, la posibilidad de rotar y modificar la escala del modelo facilitó una interpretación más precisa del objeto tridimensional. Incluso considerando el margen de error asociado al estudio, las diferencias observadas entre ambas versiones se mantienen consistentes y coherentes con la hipótesis inicial del proyecto.

En conjunto, este trabajo demuestra que la aplicación de principios científicos a un problema técnico concreto permite desarrollar soluciones ingenieriles eficaces y accesibles. El prototipo presentado constituye una base sólida para futuras mejoras y ampliaciones, y pone de manifiesto el potencial de los pseudo-hologramas interactivos como herramienta tecnológica aplicable en contextos educativos y divulgativos.

9.1. Evaluación de objetivos

A partir del desarrollo completo del proyecto y de los resultados obtenidos, puede afirmarse que los objetivos planteados inicialmente se han cumplido de forma satisfactoria. En primer lugar, se logró diseñar y construir un sistema de proyección pseudo-holográfica funcional, tanto en su versión estática como en una versión interactiva mediante la integración de sensores y control físico a través de un joystick.

Desde un punto de vista técnico, el prototipo desarrollado permitió validar la viabilidad del sistema en términos de funcionamiento, estabilidad y control, cumpliendo el objetivo de crear un dispositivo operativo basado en tecnologías accesibles y de bajo coste. La correcta integración entre la estructura física, los sensores, la placa Arduino y el entorno virtual confirmó que la arquitectura del sistema era adecuada para el propósito planteado.

Asimismo, ambos prototipos fueron utilizados en una actividad práctica con alumnado del centro, lo que permitió recoger una muestra amplia de opiniones y cumplir el objetivo de evaluar el impacto del sistema en un contexto educativo real. El análisis comparativo entre la versión estática y la interactiva mostró que la incorporación de interactividad mejora la comprensión del contenido, la motivación y la percepción de claridad en la mayoría de los participantes.

Por último, el proyecto alcanzó el objetivo de analizar la aplicabilidad del sistema en entornos docentes. El prototipo demostró ser viable en términos de simplicidad, coste y reproducibilidad, cumpliendo los criterios establecidos para valorar su posible implementación como recurso educativo.

9.2. Próximas líneas de investigación

- **Análisis del impacto del holograma a largo plazo:** Evaluar cómo la exposición repetida al holograma interactivo afecta la comprensión y retención del contenido a lo largo del tiempo. Esta línea permitiría determinar si los beneficios observados se mantienen o incluso se incrementan con el uso prolongado.
- **Accesibilidad para alumnado con necesidades especiales:** Diseñar adaptaciones del holograma y de los sistemas de interacción para estudiantes con discapacidades visuales, motrices o cognitivas. El objetivo sería asegurar que la herramienta pueda ser utilizada de manera inclusiva, evaluando su efectividad y usabilidad en distintos perfiles de usuario.
- **Exploración del efecto Pepper's Ghost mediante superficies semiesféricas:** Investigar la viabilidad óptica y perceptual de sustituir las geometrías planas tradicionales por superficies semiesféricas semi reflectantes para la generación de pseudo-hologramas. Esta línea permitiría analizar las distorsiones introducidas por la curvatura, desarrollar modelos de corrección del contenido visual y evaluar si esta configuración ofrece representaciones más envolventes y simétricas que los sistemas piramidales convencionales, evitando de tal forma los ángulos muertos producidos cerca de las aristas de la pirámide actual.

En atención a las limitaciones señaladas por los alumnos:

- **Mejora del tamaño y la nitidez de la proyección:** Investigar cómo aumentar la claridad y el tamaño aparente del holograma, mediante la optimización de los materiales de proyección o la utilización de tecnologías de mayor resolución. El objetivo sería lograr una visualización más cómoda y detallada.
- **Inclusión de feedback inmediato:** Implementar sistemas que proporcionen retroalimentación en tiempo real, como explicaciones o indicaciones visuales al interactuar con elementos concretos del holograma. Se investigaría si este tipo de feedback facilita la comprensión y refuerza el aprendizaje activo.
- **Integración de interacción más natural:** Explorar métodos de control alternativos al joystick y al sensor de distancia, como gestos con las manos (Leap Motion, cámaras con seguimiento de manos), seguimiento ocular o comandos de voz. Esto permitiría una interacción más intuitiva y directa con el holograma, mejorando la experiencia del usuario.

10. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Abdel Razek, M. H. (2020, 16 de mayo). Refraction of light and its applications. Ain Shams Engineering Journal. https://www.researchgate.net/profile/Mahmoud-Abdelrazek-7/publication/343336357_Refraction_of_light_and_its_applications/links/5f23fcd4a6fdcccc439bf647/Refraction-of-light-and-its-applications.pdf [Fecha de consulta: 28/09/2025]
- Agencia de marketing digital. (s. f.). ¿Qué es una interfaz interactiva? ByronVargas.com. https://www.byronvargas.com/web/que-es-una-interfaz-interactiva/ [Fecha de consulta: 26/09/2025]
- Arduino. (s. f.). Arduino hardware. https://www.arduino.cc/en/hardware/#classic-family [Fecha de consulta: 13/12/2025]
- Arduino. (s. f.). Arduino Uno R3 technical specifications. https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/#tech-specs [Fecha de consulta: 03/10/2025]
- Arduino.cl. (s. f.). Arduino UNO. https://arduino.cl/producto/arduino-uno/ [Fecha de consulta: 03/10/2025]
- Arduino.cl. (s. f.). Arduino UNO R4 WiFi. https://arduino.cl/producto/arduino-uno-r4-wifi/ [Fecha de consulta: 03/10/2025]
- Arduino.cl. (s. f.). Modelos Arduino. https://arduino.cl/arduino-2/ [Fecha de consulta: 03/10/2025]
- Britannica Editors. (2025, 30 de julio). Refraction. Encyclopædia Britannica. https://www.britannica.com/science/refraction [Fecha de consulta: 26/09/2025]
- Burbano de Ercilla, S., Burbano García, E., & Gracia Muñoz, C. (2003). Física general. Editorial Tébar. https://books.google.es/books?id=BWgSWTYofiIC [Fecha de consulta: 27/09/2025]
- Casasnovas, M., Michaelides, C., Carrascosa-Zamacois, M., & Bellalta, B. (2024, 6 de agosto). Experimental evaluation of interactive edge/cloud virtual reality gaming over Wi-Fi using Unity Render Streaming. arXiv. https://arxiv.org/abs/2402.00540v2 [Fecha de consulta: 03/10/2025]
- Creative Commons. (s. f.). Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en [Fecha de consulta: 02/10/2025]
- DukeAcrylic. (s. f.). Índice de refracción 1.49% hojas de plexiglás acrílico resistente a los impactos 1250×1850 mm. https://spanish.dukeacrylic.com/sale-26555560-refractive-index-1-49-impact-resistant-acrylic-frosted-plexiglass-sheets-1250x1850mm.html [Fecha de consulta: 27/09/2025]

- ElectronicWings. (s. f.). Pi Camera module interface with Raspberry Pi using Python. https://www.electronicwings.com/raspberry-pi/pi-camera-module-interface-with-raspberry-pi-using-python [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Gabor, D. (1949). Microscopy by reconstructed wave-fronts. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, 197, 454–487. https://doi.org/10.1098/rspa.1949.0075 [Fecha de consulta: 04/06/2025]
- Haas, J. K. (s. f.). A history of the Unity Game Engine: An interactive qualifying project. Worcester Polytechnic Institute. http://www.daelab.cn/wp-content/uploads/2023/09/A_History_of_the_Unity_Game_Engine.pdf [Fecha de consulta: 03/10/2025]
- Imagina Formación. (2024, 22 de octubre). Procesamiento de imágenes con OpenCV en Python. https://imaginaformacion.com/tutoriales/opencv-en-python [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Ismailov, A. S., & Jo'rayev, Z. B. (2022, marzo). Study of Arduino microcontroller board. Science and Education Scientific Journal, 3(3). https://www.researchgate.net/publication/359502443_Study_of_arduino_microcontroller_board [Fecha de consulta: 03/10/2025]
- JMP. (s. f.). Prueba de independencia chi-cuadrado. https://www.jmp.com/es/statistics-knowledge-portal/chi-square-test/chi-square-test-of-independence [Fecha de consulta: 15/12/2025]
- Kaharuddin, A., Arsyad, N., & Asdar. (2023). The practicality of 3D hologram media in geometry learning. Himalayan Journal of Education and Literature, 4(2), 1–2. https://doi.org/10.47310/hjel.2023.v04i02.025 [Fecha de consulta: 03/10/2025]
- KEYENCE. (s. f.). ¿Qué es un sensor ultrasónico? https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/ [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Kim, M., Yoon, K., & Kim, K. G. (2022). Design of the floating hologram method with a reverse pyramid type for CT and MR diagnosis in clinical room. Diagnostics, 12(5), 1157. https://doi.org/10.3390/diagnostics12051157 [Fecha de consulta: 03/10/2025]
- Kim, N., Choe, H., Lee, S., & Kang, C. (2025). Design and implementation of a 3D Korean sign language learning system using pseudo-hologram. Applied Sciences, 15(16), 8962. https://doi.org/10.3390/app15168962 [Fecha de consulta: 03/10/2025]
- Lenis, A. (2023, 17 de mayo). Qué es la interfaz de usuario, qué tipos existen y ejemplos. HubSpot España. https://blog.hubspot.es/website/interfaz-usuario [Fecha de consulta: 26/09/2025]
- LimeSurvey. (2024). Una guía completa para entender el margen de error en encuestas. https://www.limesurvey.org [Fecha de consulta: 15/12/2025]
- LaskaKit. (s. f.). Joystick module. https://www.laskakit.cz/user/related_files/joystick_module.pdf [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Linaldelli, L. (s. f.). Efecto Pepper. Proyecto IDIS. https://proyectoidis.org/efecto-pepper/ [Fecha de consulta: 26/09/2025]
- Luis Llamas. (s. f.). Controla hasta 12 sensores táctiles capacitivos con Arduino y MPR121. https://www.luisllamas.es/arduino-mpr121/ [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Luis Llamas. (s. f.). Detectar gestos con Arduino y sensor APDS-9960. https://www.luisllamas.es/detectar-gestos-con-arduino-y-sensor-apds-9960/ [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Luis Llamas. (s. f.). Medir distancia con precisión con Arduino y sensor láser VL53L0X y VL6180X. https://www.luisllamas.es/arduino-sensor-distancia-vl53l0x/ [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Llamas, L. (s. f.). Detector de movimiento con Arduino y sensor PIR. LuisLlamas.es. https://www.luisllamas.es/detector-de-movimiento-con-arduino-y-sensor-pir/ [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Magyar, J. (2021, 10 de febrero). Cómo implementar la tecnología de sensores táctiles capacitivos. Altium Resources. https://resources.altium.com/es/p/how-to-implement-capacitive-touch-sensor-technology [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Microsegur S. L. (s. f.). Qué es un sensor de movimiento PIR. https://microsegur.com/que-es-un-sensor-de-movimiento-pir/ [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Microsoft. (2023, 21 de junio). Acerca de los joysticks. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/es-es/windows/win32/multimedia/about-joysticks [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Mollon, R. (s. f.). ¿Qué es el metacrilato y qué usos se le puede dar? AnitaLetters. https://www.anitaletters.com/el-metacrilato-y-usos-que-le-podemos-dar/ [Fecha de consulta: 27/09/2025]
- Monsuton. (s. f.). Pirámide holográfica: qué es y cómo hacer una casera. https://www.monsuton.com/piramide-holografica/ [Fecha de consulta: 26/09/2025]
- Morillo, P., Orduña, J. M., Casas, S., & Fernández, M. (2019, 19 de febrero). A comparison study of AR applications versus pseudo-holographic systems as virtual exhibitors for luxury watch retail stores. https://informatica.uv.es/~pmorillo/papers/pmorillo_ms19.pdf [Fecha de consulta: 03/10/2025]

- Moro, C., Phelps, C., Jones, D., & Stromberga, Z. (2020, 24 de agosto). Using holograms to enhance learning in health sciences and medicine. Medical Science Educator, 30(4), 1351–1352. https://doi.org/10.1007/s40670-020-01051-7 [Fecha de consulta: 03/10/2025]
- Murillo, N. (2023, 21 de junio). ¿Qué es y qué usos tiene el metacrilato? Moldiber. https://moldiber.com/blog/que-tipo-de-material-es-el-metacrilato/ [Fecha de consulta: 29/09/2025]
- Newcombe, R. G., & Merino-Soto, C. (2006). Intervalos de confianza para las estimaciones de proporciones y las diferencias entre ellas. https://www.researchgate.net/publication/26460914 [Fecha de consulta: 15/12/2025]
- NXP Semiconductors. (2014). MPR121 touch sensor fact sheet (Document No. MPR121FS Rev. 2). https://www.nxp.com/docs/en/fact-sheet/MPR121FS.pdf [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Óptica Naranjo. (2024, 9 de octubre). Densidad óptica en espectrofotometría: clave en análisis. https://opticanaranjo.com.ar/densidad-optica-espectrofotometro/ [Fecha de consulta: 29/09/2025]
- Paguayo. (2022, 6 de diciembre). ¿Cómo funciona el sensor PIR HC-SR501 con Arduino? MCI Electronics. https://cursos.mcielectronics.cl/2022/12/06/como-funciona-el-sensor-pir-hc-sr501-e-interconectarlo-con-arduino/ [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Pérez, C., Verón, J., Pérez, F., Moraga, M. Á., Calero, C., & Cetina, C. (2024). A comparative analysis of energy consumption between the widespread Unreal and Unity video game engines. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.06346 [Fecha de consulta: 03/10/2025]
- RAING. (s. f.). Microcontrolador. Diccionario Español de Ingeniería. https://diccionario.raing.es/es/lema/microcontrolador-0 [Fecha de consulta: 26/09/2025]
- Raza, S., & Sharma, S. (2012). Holography: A review. International Journal of Applied Physics and Mathematics, 2(3), 184–185. https://ijapm.org/papers/84-A1004.pdf [Fecha de consulta: 26/09/2025]
- Rojas Amador, P. (2017). El dispositivo del fantasma de Pepper: la intermedialidad y el efecto de presencia. ESCENA. Revista de las artes, 76(2), 28–44. https://www.redalyc.org/journal/5611/561161209004/html/ [Fecha de consulta: 26/09/2025]
- Securitas Direct. (2023, 5 de mayo). ¿Qué es el hardware libre y qué ventajas o desventajas tiene usarlo? https://protegiendopersonas.es/que-es-el-hardware-libre-y-que-ventajas-o-desventajas-tiene-usarlo-securitas-direct/ [Fecha de consulta: 28/09/2025]
- SeguriLatam. (2023, 1 de mayo). Detector de movimiento con PIR: qué es y para qué sirve. https://www.segurilatam.com/actualidad/detector-de-movimiento-con-pir-que-es-y-para-que-sirve_20230501.html [Fecha de consulta: 14/06/2025]
- Sitio que avisa se unificaron. (2021, 21 de abril). La física de los hologramas caseros [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=GUV2d5DHa6I [Fecha de consulta: 25/09/2025]
- Smith, G. M. (2025, 4 de marzo). ¿Qué es un sensor y qué hace? Dewesoft. https://dewesoft.com/es/blog/que-es-un-sensor [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Šmíd, A. (2017). Comparison of Unity and Unreal Engine (Bachelor's thesis). Czech Technical University in Prague. https://core.ac.uk/download/pdf/84832291.pdf [Fecha de consulta: 03/10/2025]
- SolectroShop. (2021, 12 de octubre). ¿Cómo funciona el sensor de ultrasonidos medidor de distancia? https://solectroshop.com/es/blog/como-funciona-el-sensor-de-ultrasonidos-medidor-de-distancia--n99 [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Soler & Palau. (2024, 5 de septiembre). Sensores de movimiento: cómo funcionan y aplicaciones más frecuentes. https://www.solerpalau.com/blog/es-es/sensores-movimiento/ [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Ultraleap Ltd. (s. f.). Leap Motion Controller 2 datasheet (UL-006511-SP-17). https://cdn.robotshop.com/media/L/Lep/RB-Lep-12/pdf/ul-006511-sp-17-leapmotion-controller-2-datasheet.pdf [Fecha de consulta: 30/09/2025]
- Universidade do Estado de Santa Catarina. (s. f.). O que é Blender? https://www.udesc.br/arquivos/ceavi/id_cpmenu/291/blender_15380734741151_291.pdf [Fecha de consulta: 03/10/2025]
- Wenglor. (s. f.). Funcionamiento y tecnología de un sensor de ultrasonidos. https://www.wenglor.com/es/Principio-de-funcionamiento-y-tecnologia-de-un-sensor-de-ultrasonidos/ [Fecha de consulta: 30/09/2025]

11. ANEXOS

Configuración de cámaras:
https://github.com/KainosSoftwareLtd
/PeppersGhostPyramid

GitHub Pepper's G.

Código en GitHub:
https://github.com/fireflyinprojects
/Pseudo-holograma-interactivo

Código en GitHub

Comparación de materiales y componentes:
https://docs.google.com/document/d
/1kyZaAqVcfwSgHo5QhiVp6TO
iLyqNRKSLF4Vsa93tAIw
/edit?usp=sharing

Sensores

Tabla de respuestas al cuestionario:
https://docs.google.com/spreadsheets
/d/1ylTDKGGEJxoZo1v4REnVCc4N8
A0vbdV9_iM1ThFK_fg
/edit?usp=sharing

Tabla cuestionario

Cuestionario utilizado:
https://forms.gle/k1hvTJbNu4xA1hjA8

Cuestionario PDF

Modelo tridimensional del prototipo:
https://www.tinkercad.com/things/dUr-
jXOVWy7a-prototipo-pseudo-holografi-
co?sharecode=GSYXEktjcjw-hIvAN1R-
9PAoXe7a2HarVKiSWfS6-nJw

Modelo 3D HoloScene

Material audiovisual del prototipo:
https://drive.google.com/drive/folders/
13VbjfZCHwHTjctH9v4C0CatY4UgdFBn-
v?usp=drive_link

Demo HoloScene

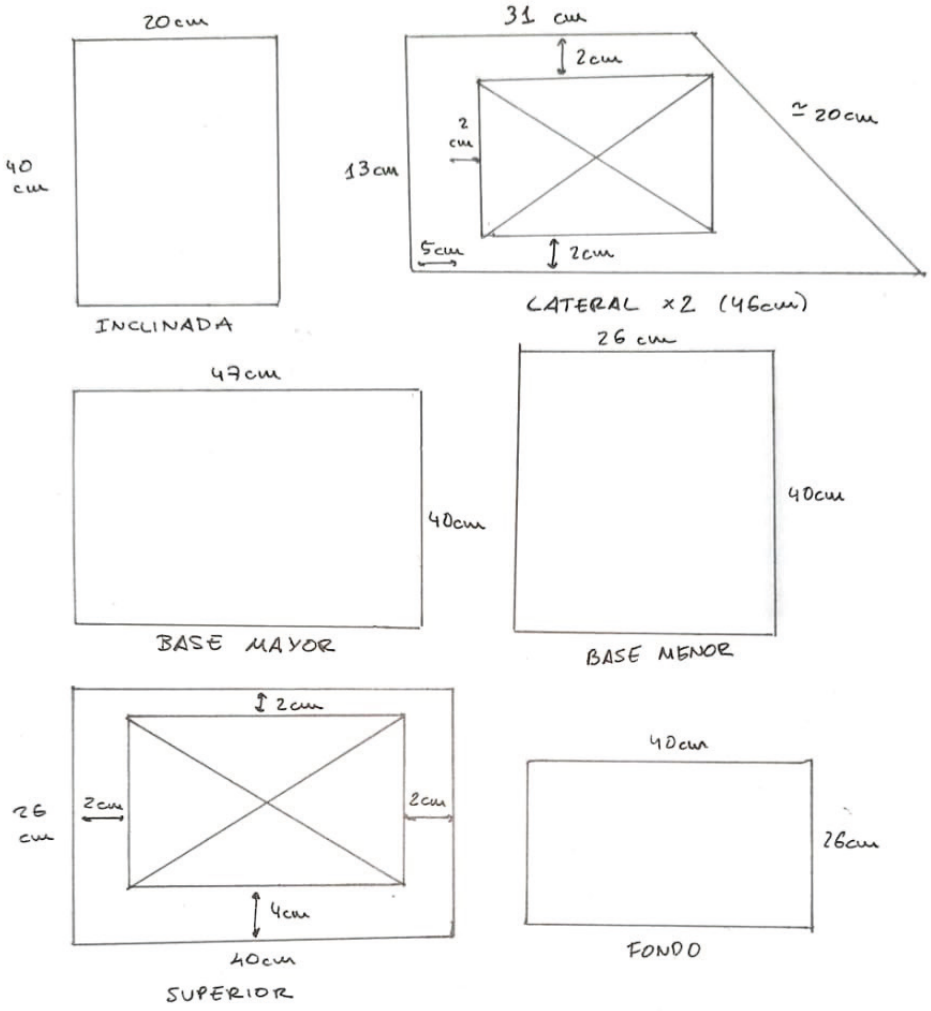
Recursos utilizados en las clases:

[Todos los links fueron consultados el 04/12/25]

- Anatomía, primero de bachillerato: Células: animal, vegetal (membrana celular, citoplasma, núcleo, mitocondria, ribosomas, citoesqueleto)
  - Biology cell pack Unity Asset Store: https://assetstore.unity.com/packages/3d/biology-cells-pack-97118?srsltid=AfmBOooAbWEXJ9uT0n-lnMsXwZuypiIoCgqATW5On2pVITYWiYtEuUqp
- Dibujo técnico segundo de bach: vistas de piezas
  - Pieza realizada en Tinkercad: https://www.tinkercad.com/things/3df9CQqIfTH-pieza-dibujo-tecnico?sharecode=UQju9ezx1fSAtdtVZnl119NWkEnHSDyQrbs6-44DpS4
- Biología 3º diversificación: sistema digestivo (estómago, intestino)
  - Stomach - Organ: https://sketchfab.com/3d-models/stomach-organ-56ffcd2330ae4b7ea6c7b8a08c82b4b7
  - Badqualityintestine:https://sketchfab.com/3d-models/bad-quality-s-l-intestine-dacs-ujat-242e75096-ba6f67ee78f249dd85ce316379d10629
  - Digestive system: https://sketchfab.com/3d-models/digestive-system-f78ce703805f49d3b732e-37be5b93188
- Biología 3º ESO: aparato circulatorio (corazón, arterias)
  - Arteries of head & neck: https://sketchfab.com/3d-models/arteries-of-head-neck-de9a1820a79d4ad-19966934ffd68ed41
  - Angiology (sistema nervioso): https://sketchfab.com/3d-models/angiology-0caae8f894cc40b-69f3f78adf14b9665
- Biología 1º bachillerato: reino animal (vertebrado, invertebrado)
  - Artrópodo glb (mariposa): https://sketchfab.com/3d-models/animales-invertebrados-artropodos-17af1059dc374634bc0c4076fad8ebc9
  - Basical snail: https://sketchfab.com/3d-models/basical-snail-5b8d887ff3044119bf87ce9aa6e574b1#download
  - Fox anatomy: https://sketchfab.com/3d-models/fox-anatomy-bc5e3b0399784323a161005c74109578

- Física 3º ESO: Modelo de átomo de Bohr
  - Particle atom (con animación): https://sketchfab.com/3d-models/particle-atom-loop-animaton-629a5e4d33a440dbaa77ccb990cba1e7
  - Atom (sin animación): https://sketchfab.com/3d-models/atom-8ea2315dc6ae40a4b7c1d2eb75305d2c
- Matemáticas 2º ESO: Geometría
  - Stereometry: https://sketchfab.com/3d-models/stereometry-9ed8d45b3d19486dbe53a61e690e928a

Medidas de las piezas del prototipo:



El héroe en todas las antigüedades

Erika Ovejero Díez

Tutora: Ana Genoveva Sáenz-Messía Iriarte

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la realización de este proyecto de investigación.

En primer lugar, a mi tutora Ana, cuya guía, paciencia y conocimiento han sido fundamentales en cada etapa del proceso. Su orientación no solo enriqueció el contenido de este proyecto, sino que también me ha motivado a superar las dificultades y a mantener la rigurosidad académica requerida.

También quiero agradecer a mis familiares y amigos por su apoyo incondicional, comprensión y ánimo constante. Les doy las gracias por brindarme la presencia necesaria en los momentos más exigentes y estresantes, además de acompañarme en este camino dándome cariño y confianza.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....414
1.1. Abstract.....414
2. INTRODUCCIÓN.....414
2.1. Justificación.....414
2.2. Hipótesis.....415
2.3. Objetivos.....415
3. METODOLOGÍA.....415
4. MARCO TEÓRICO.....415
4.1. Mitología comparada.....415
4.2. Concepto de mito y de héroe.....416
4.3. Similitud entre las mitologías: los arquetipos.....416
4.4. Los doce arquetipos.....416
4.5. El arquetipo de héroe y sus etapas.....421
5. ESTUDIO COMPARATIVO.....424
6. CONCLUSIONES.....426
7. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....427
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....427

1. RESUMEN

En una época en la que la mitología es ampliamente consumida y continúa atrayendo al público (especialmente al joven, que siente una gran fascinación por la mitología griega, como demuestra el interés por la lectura de la saga de *Percy Jackson* o la expectación por ver la película *La Odisea* de Cristopher Nolan), los mitos ya no se limitan a una sola cultura. Por el contrario, se admiran las diferentes mitologías del mundo y, al aproximarse a ellas y compararlas, se revelan diversas similitudes en sus arquetipos, que finalmente son los elementos que definen estas historias.

Las mitologías griega, nórdica y japonesa presentan héroes que, pese a provenir de culturas muy distintas, comparten estructuras narrativas similares. Se analizan estas coincidencias utilizando *El viaje del héroe* de Campbell y los arquetipos de Jung. Se comparan las historias de Aquiles, Thor y Yamato Takeru mediante tablas y un análisis estructural para investigar si existen estos patrones heroicos universales que trascienden las culturas y las épocas.

PALABRAS CLAVE: Arquetipo, Mitología, Héroe, Épica,,Inmortalidad, Gloria

1.1 ABSTRACT

In a time when mythology is widely consumed and continues attracting public attention (especially amongst the young, who feel a great fascination towards Greek mythology, such as the reading of the *Percy Jackson* saga or the expectation to see Christopher Nolan´s *Odyssey*), the myths are not limited to only one culture. On the contrary, all the mythologies from all around the world, after approximating and comparing them, reveal various similarities in their archetypes, which are the elements that define these stories.

The Greek, Nordic and Japanese mythologies present heroes that, besides coming from very different cultures, share similar narrative structures. These coincidences will be analysed using *The Hero's Journey* from the Campbell and Jung archetypes. The stories of Achilles, Thor and Yamato Takeru are going to be compared with tables and a structural analysis in order to research the existence of these universal hero patterns that transcend cultures and ages.

KEY WORDS: Archetype, Epic, Mythology, Hero, Immortality, Glory

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Justificación

Para Mircea Eliade (filósofo, historiador de las religiones y novelista rumano, considerado uno de los grandes estudiosos de la mitología y los símbolos en el siglo XX), la mitología de una cultura no es una mera colección de relatos dispersos, sino un sistema coherente de narraciones, manifestaciones de lo sagrado, que fundamentan la realidad, proporcionan modelos ejemplares de conducta y dan sentido a la existencia, tanto individual como colectiva.

> *A través de la experiencia de lo sagrado (la mitología) ha podido captar el espíritu humano; la diferencia entre lo que se manifiesta como real, fuerte y rico en significado, y todo lo demás que aparece desprovisto de esas cualidades, es decir, el fluir caótico y peligroso de las cosas (Eliade, 2020, p.17).*

Sin duda, por eso, desde el primer momento que descubrí el mundo de la mitología, me cautivó.

Tras años leyendo libros sobre distintas mitologías me percaté de lo parecidas que todas ellas eran, tanto en sus mitos, como en sus personajes. Me pregunté si sería posible encontrar semejanzas que delatasen una unidad entre las múltiples mitologías y me propuse intentarlo. Ese ámbito es tan amplio que he decidido centrarme únicamente en la concordancia de características entre los héroes más conocidos de ellas. He decidido realizar la comparativa de los héroes de las tres mitologías que más han llamado mi atención durante estos años y que además se encuentran situadas en territorios muy lejanos entre sí y en épocas distantes en la antigüedad.

Los héroes mitológicos que he escogido y que voy a utilizar son los que encontraba más fascinantes; aunque haya tenido que descartar la mitología romana, egipcia, rusa o americana (maya, azteca, inca…).

En primer lugar, he seleccionado la **mitología griega**, que es la que más influencia ha tenido en la cultura y vida actual de nuestra sociedad. Por lo tanto, su conocimiento por parte de la civilización moderna es amplio. El motivo que me llevó a descartar la mitología romana y sus héroes, que también ha tenido gran influencia en la tradición occidental, es que replicó todos sus mitos de la griega.

En segundo término, he escogido la **mitología nórdica** por ser de una cultura occidental actual, pero que dista de

las mediterráneas y con una vigencia en épocas muy distintas. Por ello, la comparación puede ser significativa.

Por último, he determinado que la tercera mitología a incorporar en el estudio proceda de una sociedad con las mínimas coincidencias sociales y culturales con las europeas. **La mitología japonesa**, destaca por su simbolismo e historias, sobre todo, basadas en el mundo natural.

2.2. Hipótesis

Las mitologías nórdica, griega y japonesa pertenecen a culturas muy alejadas en tiempo y espacio; pero no por ello dejan de compartir una estructura arquetípica común en la figura del héroe y en el desarrollo de su viaje.

2.3. Objetivos

Objetivos generales:

- Estudiar los arquetipos que comparten las tres mitologías.
- Encontrar similitudes y divergencias.

Objetivos específicos:

- Crear tablas donde se estudien las similitudes entre los héroes de las tres mitologías.
- Analizar el canon de héroe en cada una de ellas.
- Comparar los viajes de tres héroes representativos.

3. METODOLOGÍA

Para realizar este proyecto, se van a usar tablas creadas en Excel que representarán las doce etapas por las que el héroe transita en su viaje. Con esta estructura se quiere realizar un registro claro y detallado de las coincidencias y discrepancias que estos héroes comparten.

Estas relaciones se van a establecer de dos formas: la primera será viendo el paralelismo u oposición de cada héroe mitológico con la tabla de Vogler la cual resume el viaje del héroe en doce etapas para ayudar en la sintetización y comprensión. La segunda manera calculará los factores realmente coincidentes entre ellas.

Finalmente, se diseñará una representación gráfica con las conclusiones del análisis.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Mitología comparada

Este trabajo desarrollará tres conceptos: mitología comparada, psicoanálisis de Jung y mitocrítica.

La primera disciplina, la mitología comparada, según Joseph Campbell (2005), es el estudio de los mitos de diversas culturas para identificar patrones y temas comunes, revelando una unidad esencial en la experiencia humana y la búsqueda de significado.

Campbell veía los mitos como poderosas guías para el espíritu humano. Para este profesor de mitología y religiones comparadas, los relatos mitológicos de todo el mundo, a pesar de parecer muy diferentes, en realidad eran todos iguales. Su verdad universal era siempre la misma, solo que se contaba en diferentes tiempos históricos y de diferentes maneras.

En segundo lugar, habría que definir la mitocrítica, Losada (2015) lo hace como el estudio interdisciplinar de los mitos desde una perspectiva que la relaciona con las ciencias sociales y humanas. Para estudiar los mitos se enfoca de un modo literario y cultural, demostrando su uso y aparición en las obras artísticas, especialmente las literarias. También busca entender cómo se transformaron para crear la historia y su papel en el relato.

La mitocrítica, en su inicio, fue desarrollada por el filósofo Gilbert Durand (2005), quien, tras analizar varios cuentos infantiles, se dio cuenta de que compartían semejanzas con mitos de la antigüedad. Por ello, Durand creó categorías o regímenes de tres ramas, con sendas figuras esenciales: lo heroico, lo místico y lo sintético. Esto ayuda a la clasificación de las metáforas y símbolos que se encuentran en los textos.

En último lugar, podemos destacar también el psicoanálisis jungiano o psicología analítica. Para el experto en mitología y cultura antigua Enrique Lafuente (2017), se puede afirmar que la psicología analítica es una escuela de pensamiento dentro de la psicología fundada por Carl Gustav Jung. Las diferencias entre su escuela y la de Freud son notables, comprendiendo la concepción dentro del inconsciente, el proceso de individualización y, lo que es más destacable para el presente trabajo, la importancia de los arquetipos.

4.2. Concepto de mito y de héroe

Según la Real Academia Española (2006), un mito es *"una narración maravillosa situada fuera del tiempo histórico y protagonizada por personajes de carácter divino o heroico."* Pero conforme a Carl G. Jung, los mitos son más que unas historias inventadas para explicar el porqué de las acciones que pasan a nuestro alrededor que no tenían respuesta, sino que forman parte de la mente humana en el inconsciente. Según Jung, la mente humana tiene su propia historia, y la psique conserva muchos rastros de las anteriores etapas de su desarrollo. Es más, los contenidos del inconsciente ejercen una influencia formativa sobre la psique. Conscientemente, podemos desdeñar esos contenidos, pero inconscientemente respondemos a ellos y a las formas simbólicas - incluidos los sueños -, con que se expresan. Esto explica que los mitos forman parte de nuestro colectivo inconsciente y que, por mucho que pase el tiempo, los vamos a seguir conservando con nosotros ya que recogen las experiencias que todos los seres humanos hemos padecido y que influyen en nuestro yo. Por ello, los mitos sirven para mostrar los arquetipos y vivencias comunes, ya que son compartidas por todos, sin importar cultura, edad o posición social. Esta teoría es también respaldada por Freud o Joseph Campbell.

El otro concepto importante para el presente proyecto es el de héroe. Podemos encontrar cuatro acepciones distintas en la Real Academia Española (2025), pero solo nos vamos a centrar en la primera y en la última: *"Persona extraordinariamente valiente, que lleva a cabo una acción o una tarea admirables"* y *"Ser nacido de un dios o una diosa y de un ser humano"*.

4.3. Similitud entre mitologías: los arquetipos

Carl Justav Jung en su libro *El hombre y sus símbolos* (1984) postuló la existencia de un "inconsciente colectivo", una de las capas de la psique humana compartida por toda la humanidad y que contiene los arquetipos o "formas primordiales". Estos arquetipos no son imágenes concretas en sí mismas, sino moldes que dan forma a nuestras experiencias, cómo las interpretamos y cómo actuamos en defensa. Cuando se manifiestan, lo hacen a través de símbolos e imágenes arquetípicas, que son reconocibles en diversas narrativas culturales.

La teoría de Jung, en cuanto a los arquetipos, se basa en la observación de que estos patrones universales de pensamiento, comportamiento e imagen aparecen de manera recurrente en los cuentos, en los sueños y en las mitologías de las variadas culturas de todo el mundo. Este último hecho es el que nos parece más relevante de cara al presente proyecto de investigación.

Es muy importante destacar que los hombres han intentado desde el inicio de los tiempos comprender y encontrar una explicación a su personalidad y a la de las personas que lo rodean.

Carl G. Jung (1984) definió el arquetipo como *"la forma introspectivamente reconocible de un orden psíquico a priori (…) Estas imágenes deben considerarse como carentes de contenido sólido, por lo tanto, como inconscientes. Solo adquieren solidez, influencia y consciencia eventual en el encuentro con los hechos empíricos*". (p.126)

Jung desarrolló un total de doce arquetipos que explicarían el comportamiento de las personas, dividiéndolas por diferentes categorías, dirigidas por imágenes y tendencias de comportamientos.

4.4. Los doce arquetipos

Jung creó un total de doce arquetipos que representan las motivaciones más primarias.

1. El inocente

El arquetipo del inocente se sitúa normalmente en la niñez, puesto que es el período donde la protección de los padres crea un entorno seguro. Tiene como meta llegar a la felicidad y a vivir plenamente, haciendo que siempre mantenga una actitud positiva. Su mayor miedo es el rechazo de otras personas o el castigo por cometer un mal acto. Su debilidad es depositar demasiado su confianza en las personas.

A continuación, se ilustrará el arquetipo del inocente con tres ejemplos de las mitologías seleccionadas en esta investigación:

Perséfone: dentro de la mitología griega, nos encontramos la figura de Perséfone como representante del arquetipo del inocente. Hasta que es secuestrada por Hades, Perséfone solo conoce una vida de inocencia y vulnerabilidad, al vivir protegida por su madre Deméter (diosa de la agri-

cultura). Su descenso al inframundo muestra la pérdida de esa inocencia, al verse obligada a lidiar con el dolor y la pérdida. (Gibson, 1986, p.28)

Balder: en la mitología nórdica, Balder se muestra como el dios más amado, al ser justo y carecer de malicia. Su madre Frigg le hizo inmune a todos los potenciales peligros, excepto a la exposición del muérdago. Balder ignora cualquier peligro, depositando su confianza en todos. En consecuencia, otro dios llamado Loki provoca su muerte reemplazando la flecha que su hermano Höðr dispara por una hecha de muérdago. Esta acción provocará el inicio del Ragnarök. (Branston, 1985, p. 571)

Amaterasu (天照): es la diosa del sol en la mitología japonesa, es representada como una figura brillante, que sostiene la vida y el equilibrio, creando una relación conflictiva con el caos. Cree en la bondad del mundo y en la cooperación entre dioses. (Loarte, 2023, p.363)

2. El amigo

El arquetipo del amigo se encuentra a menudo en las historias, siendo el leal compañero del protagonista (arquetipo del héroe). Son personas en las que se puede confiar. Buscan formar parte del mundo, pero sin llegar a sobresalir en él. Su mayor ventaja es su facilidad para crear amistades con otra gente, aunque pueden ser consideradas malas personas por mostrar actitudes cínicas.

Pasamos ahora a ejemplificar el arquetipo del amigo con tres personajes mitológicos:

Patroclo: dentro de la mitología griega es uno de los que más reflejan el arquetipo del amigo. Este personaje permanece siempre fiel a su compañero Aquiles. Este gran vínculo sentimental que los une sacrifica la vida de Patroclo cuando se viste con la armadura de Aquiles (que se niega a luchar), un acto impulsado por el amor hacia su primo, aunque al final le cueste la vida. (Gibson, 1986, p.140).

Tyr: aunque Tyr sea más conocido por ser el dios de la guerra y la justicia, a través de los mitos muestra una faceta que encaja con el perfil del arquetipo del amigo. Esto se puede ver cuando Tyr sacrifica su mano para encadenar al lobo Fenrir y que no dañe al resto de dioses. Así demuestra que sus acciones no buscan ser glorificadas, sino conseguir el bienestar del resto de sus compañeros. (Branston, 1985, p. 100)

Ame-no-Uzume (天鈿女命): en la mitología japonesa, Ame-no-Uzume es la que más concuerda con el arquetipo del amigo. Ella, diosa de la danza, la alegría y el amanecer, fue la encargada de sacar a Amaterasu de su retiro en una cueva, mediante una danza y se convirtió en su amiga, proporcionándole apoyo y amor. Esta divinidad usa la alegría como medio para devolverle la luz al mundo y restaurar el equilibrio. (Loarte, 2023, p.376)

3. El sabio

El sabio es la persona que ayuda a revelar el propósito del héroe y le enseña a actuar de manera correcta, mediante el uso de la razón. Por ello, los esfuerzos del sabio serán recoger toda la sabiduría del mundo y difundirla. En su sapiencia, reconoce que nunca podrá poseer todo el conocimiento.

Seguidamente, se muestran los tres ejemplos que ilustran este arquetipo:

Atenea: es conocida por ser la diosa de la sabiduría y la guerra estratégica. De ahí que sea una de las más cercanas al arquetipo del sabio dentro de la mitología griega. Está relacionada con este arquetipo de diversas maneras; desde su origen, al nacer de la cabeza de Zeus, pudiendo ser un símbolo de su conexión con la racionalidad, hasta cuando proporciona ayuda a los héroes para ganar batallas de manera estratégica. (Gibson, 1986, p.84)

Mímir: En la mitología nórdica, Mimir es el guardián del pozo de la sabiduría, ubicado en las raíces del árbol Yggdrasil. También es considerado el consejero de los dioses, ya que tras ser decapitado, su cabeza es conservada mediante magia para que pueda seguir ofreciendo sus consejos. (Branston, 1985, p. 609)

Fukurokuju: es uno de los siete dioses de la fortuna. Gracias a tener una frente muy grande, se dice que puede ver más allá de las apariencias de los individuos. Tiene en su posesión un pergamino que contiene la longevidad de las personas, dándole el papel de conocer el destino de la gente. (Loarte, 2023, p.392)

4. El cuidador

El papel del cuidador es proteger y atender a las personas que lo rodean. Por tal motivo, actúan normalmente de manera maternal, ya que buscan la protección y el cuidado del resto, pero no la suya propia, desarrollando un fuerte altruismo.

A continuación, se presentan tres ejemplos del arquetipo del cuidador.

Deméter: representa el papel de madre sobreprotectora, ya que esconde a Perséfone de los males del mundo para que ella nunca los conozca y viva una vida llena de felicidad. (Gibson, 1986, p.34)

Frigg: en la mitología nórdica, Frigg es la diosa de la maternidad, hogar y matrimonio; por ello, se la entrelaza con el arquetipo del cuidador. Otro motivo es su papel de protectora de Balder - que es su hijo - y su dolor ante la muerte de éste. (Loarte, 2023, p.608)

Ebisu: en la mitología japonesa, cumple el papel del dios protector de la salud de los niños y recién nacidos, junto con los atributos de las figuras maternas protectoras de los infantes. (Loarte, 2023, p.386)

5. El explorador

Este arquetipo busca descubrir nuevos lugares y conocer la cultura de aquellos parajes a los que viaja. Así pues, nunca va a poder establecer una relación sentimental ni conservar un trabajo que lo retenga en el mismo lugar.

Procedemos a ilustrar este arquetipo con tres personajes mitológicos:

Odiseo: es el personaje dentro de la mitología griega que más representa al arquetipo del explorador gracias a la historia de la Odisea, donde vemos cómo, usando su astucia y fortaleza, consigue regresar a su hogar en Ítaca tras la guerra de Troya, después de pasar numerosas aventuras en lejanas y diversas tierras. (Gibson, 1986, p.144)

Odín: conecta con el arquetipo del explorador de una manera distinta a la de Odiseo y Urashima Taro. Mientras los otros dos se embarcan en viajes llenos de aventuras, Odín se aventura en la búsqueda de la sabiduría para alcanzar el máximo conocimiento. Por esa razón, hay varios mitos en los que viaja con el fin de obtener el saber. Uno de ellos es el mito en el que llega a las raíces del árbol de la vida Yggdrasil, donde hay un pozo lleno de agua mágica que otorga la sabiduría eterna a quien la bebe a cambio de un sacrificio. Odín decide perder su ojo como pago para poder beber de este pozo.(Loarte, 2023, p.495)

Urashima Taro: se le atribuye el arquetipo del explorador gracias al mito de la tortuga. Trata sobre un pescador, llamado Urashima Taro, que rescata a una tortuga marina. Más tarde, tiene una visión onírica de la princesa dragón, quien lo invita a unirse a ella en matrimonio en su reino submarino. Tras un periodo de tres años allí, decide regresar a su hogar, y halla que han transcurrido cuatro siglos y que nadie sigue vivo de su generación. Este mito nos revela el arquetipo del explorador en el viaje que se realiza para contraer matrimonio y el retorno para volver al mundo mortal en busca de su familia. (Loarte, 2023, p.454)

6. El mago

El mago es capaz de ver las cosas desde una perspectiva diferente a la de los otros arquetipos, proporcionando la capacidad de aportar ideas innovadoras. Su mayor defecto es que puede distorsionar la realidad. En consecuencia, está asociado a ser una persona manipuladora, ya que es capaz de deformar lo verdadero para conseguir lo que quiera.

Se ilustra el arquetipo del mago mediante tres ejemplos de las mitologías que nos ocupan:

Circe: Es la diosa de la brujería en la mitología griega. Como resultado, cuenta con poderes mágicos que pueden desde transformar hombres, hasta dominar la alquimia. Hermes ayuda a Odiseo a escapar de la isla de Circe y a rescatar a sus compañeros, que habían sido convertidos en cerdos por la hechicera. (Gibson, 1986, p.149)

Heimdall: el papel del dios guardián lo cumple Heimdall. Este es el guardián del Bifröst, un puente en forma de arcoíris que conecta el mundo de los dioses con el de los mortales. Es una figura mágica que vigila la puerta entre las distintas dimensiones.(Loarte, 2023, p.608)

Abe no Seimei: el tipo de magia que Abe no Seimei contiene es un poder más centrado en lo espiritual y ritual. Posee la capacidad de exorcizar espíritus malignos (shikigami) y de echar maldiciones. De modo que se le entrega el poder de mago protector, usado para mantener el equilibrio en el mundo. (Loarte, 2023, p.602)

7. El creador

La meta del arquetipo del creador se encuentra frecuentemente entre las personas que se dedican a trabajos artísticos, ya que su finalidad es crear algo que perdure en el tiempo y tenga una importancia notable. Son personas muy soñadoras, pero eso afecta a su productividad, haciendo que pasen más tiempo ideando que creando. También, suelen ser personas extremadamente perfeccionistas, que suelen tener diversos bloqueos creativos ante la imposibilidad de llegar a la perfección.

A continuación, se presentan tres casos mitológicos que ejemplifican este arquetipo:

Dédalo: es el arquitecto/ingeniero por excelencia dentro del mundo de la mitología griega. Es el constructor del Laberinto de Creta, donde estaba encerrado el minotauro, o de las alas que le permitieron escapar volando junto a su hijo. Esta figura destaca por crear diversos objetos y lugares con la finalidad de hacer un encargo o de beneficiar a otros. (Gibson, 1986, p.106)

Bragi: es el dios de la música y la poesía. Así pues, cumple el papel de artista que crea obras de arte, en este caso versos, para crear historias que luego serán convertidas en mitos. (Loarte, 2023, p.607)

Izanami: es una deidad fundamental, crea los dioses principales y las islas que formarán Japón junto con su esposo Izanagi. Ella es la diosa de la creación y la muerte. (Loarte, 2023, p.361)

8. El amante

Este es el arquetipo que muestra más pasión. Le encanta todo tipo de acciones que tengan que ver con el amor y con crear vínculos entre las personas. Le gusta complacer y, para ello, suele esconder su identidad y su manera de pensar para agradar a las personas que lo rodean y sentirse querido.

Tres ejemplos de la mitología griega, nórdica y japonesa podrían ser:

Afrodita: diosa del amor, belleza y deseo, nacida de la espuma del mar que creó los testículos de Urano cuando fueron cortados y lanzados al mar. Representa el magnetismo de la atracción física y espiritual. Su lado oscuro es la manipulación y los celos, muchas veces siendo un arma de doble filo. (Loarte, 2023, p.89)

Freya: es la diosa del amor; pero, a diferencia de Afrodita, es también la diosa de la guerra, dándole un toque más temible y fiero.

(Branston, 1985, p. 89)

Otohime: es la hija del dragón del mar Ryujin, y esposa de Urashima Taro, el pescador que la capturó y luego devolvió al mar. Ella lo ensalza y se casa con él, mostrando el amor idealizado y eterno, ya que el tiempo allí es distinto. También encarna la pérdida del amor, al sentir el dolor producido por la separación de su marido. (Loarte, 2023, p.385)

9. El bufón (embaucador)

Este modelo busca alegrar al resto, mediante las bromas y los trucos. No obstante, esto no significa que sea una persona alegre. El arquetipo del bufón suele tener una personalidad triste, pero es enmascarada mediante las bromas como manera de protección.

Tres casos concretos para ejemplificar este arquetipo podrían ser:

Hermes: es el mensajero de los dioses y también el encargado de transportar el alma de los muertos al inframundo. Es el creador de la comunicación y, por ello, usa el lenguaje como manera de manipulación verbal, consiguiendo lo que quiere de este modo. (Loarte, 2023, p.101)

Loki: es conocido por ser un embaucador, usando la mayoría de las veces la manipulación para llegar a lo que quiere y provocando conflictos. (Loarte, 2023, p.492)

Yokai: es un espíritu que cuenta con poderes para transformarse y engañar a la gente con la idea de burlarse de los humanos de una manera juguetona, ya que no busca destruir y los mitos en los que se le encuentra suelen ser cómicos. (Loarte, 2023, p.401)

10. El rebelde (forajido)

El arquetipo del rebelde busca cambiar todas aquellas cosas que no funcionan y encontrarles una solución para que sí lo hagan. Suelen ir a contracorriente de los demás, ya que eso les hace felices. El problema normalmente suele ser que, para lograr sus objetivos de cambio, llegan a usar ideas extremas; haciendo que, gracias a su actitud carismática, más personas se unan a sus objetivos.

Pasamos a ilustrar el arquetipo de rebelde con tres casos concretos:

Prometeo: es el titán que robó el fuego de los dioses para entregárselo a la humanidad, desafiando a Zeus debido a su compasión por los hombres. Por ello, es castigado eternamente. (Gibson, 1986, p.33)

Loki: gracias a sus poderes de cambiaformas es capaz de sembrar el caos, llevado por el sentimiento de desafío, desobedece las órdenes dadas por el resto de los dioses. (Loarte, 2023, p.492)

Izanami: la diosa creadora y de la muerte, falleció dando a luz a Kagutsuchi, la encarnación del fuego. Su marido Izanagi decide ir a buscarla y sacarla del inframundo donde se encuentra su cuerpo putrefacto. Eso le hace desistir. Ella, furiosa, decide perseguirlo con un ejército de muertos. Por el dolor de ser abandonada, lanza una maldición declarando que cada día matará a mil personas. (Loarte, 2023, p.361)

11. El gobernante

Es el arquetipo del líder. Por consiguiente, le encanta tener el control de las situaciones y manejar al resto de personas. Creen que ellos son los mejores para liderar a un grupo y se pueden frustrar si algún miembro discrepa de su punto de vista, siendo muy autoritarios. Ellos creen que, si delegan su puesto de líder a otra persona, se creará el caos, cosa que odian y no piensan que nadie más que no sea ellos pueda cumplir esas funciones.

Tres posibles ejemplos de arquetipo del gobernante podrían ser:

Zeus: tras vencer a los titanes y encerrarlos, se convierte en el soberano del Olimpo y padre de los dioses que habitan en él. Se apodera de la cualidad de juez de todos. (Loarte, 2023, p.72)

Odín: es el rey de Asgard y el líder del resto de dioses. (Loarte, 2023, p.495)

Okuninushi: gobernante de las tierras, para luego ceder este poder y quedarse con el del mundo espiritual. También es la figura que enseña a los hombres a sobrevivir mediante la agricultura o la medicina. (Loarte, 2023, p.381)

12. El héroe

El arquetipo del héroe destaca por ser el más universal de todos, ya que se encuentra desde tiempos antiguos en diversos textos mitológicos donde se les da una gran importancia. Su figura se centra en ayudar al resto mediante la superación de pruebas y cumplimiento de objetivos. Su punto débil es la soberbia, ya que al final, siempre acaba buscando la batalla y el enfrentamiento contra el mal para ayudar al resto.

Ejemplificamos el arquetipo del héroe con tres personajes, que son los que nos van a servir de base para este proyecto de investigación y sobre los que vamos a realizar su comparativa en profundidad:

1. Aquiles: es una figura que representa el arquetipo del héroe en la mitología griega. Desde el inicio elige la gloria, pues prefiere morir joven a vivir una vida larga sin ser recordado. Cuando muere su amigo Patroclo muestra de nuevo un gran interés en la guerra de Troya, llevado por la venganza de la muerte de su primo. Al final, acaba pereciendo por una flecha clavada en su talón que guió Apolo con su magia. (Loarte, 2023, p.135)
2. Thor: dios del trueno, luchó contra los gigantes para defender Asgard, usando su arma más conocida, el martillo. Su sacrificio en el Ragnarok muestra que cumplió su papel de héroe hasta su último aliento. (Loarte, 2023, p.488)
3. Yamato Takeru: tras ser exiliado por su padre por haber asesinado a su hermano involuntariamente, es enviado por su progenitor a misiones inviables. Para completarlas exitosamente, no solo tiene que luchar, sino también engañar. (Loarte, 2023, p.492)

A continuación, se resumen las características de cada arquetipo agrupadas en sendas tablas.

Características de los arq...

Arquetipo	Meta
El inocente	felicidad
El amigo	pertenecer a un grupo
El sabio	poseer la mayor inteligencia y educar al resto
El cuidador	ayudar, cuidar y proteger
El explorador	viajar y descubrir nuevas culturas
El mago	comprender las leyes del universo
El creador	crear cosas que se mantengan en el tiempo
El amante	estar en relaciones con las personas que le rodean
El bufón	alegrar a las personas que le rodean
El rebelde	cambiar lo que no actúa como ellos quieren
El gobernante	tener un grupo que progrese favorablemente
El héroe	que gobierne la justicia y libertad, ayudando al resto y protegiéndolos

Tabla 1 (elaboración propia)
Característica "meta" de los arquetipos

Características de los arq...

Arquetipo	Miedo
El inocente	castigo
El amigo	quedarse sin amigos
El sabio	ser percibido como ignorante
El cuidador	ser juzgado por ser egoísta
El explorador	quedar atrapado
El mago	crear consecuencias negativas indeseadas
El creador	no llegar a crear nada que sea significativo
El amante	no ser querido
El bufón	parecer una persona cargante
El rebelde	no lograr hacer un cambio
El gobernante	el caos general y ser derrocado de su posición de líder
El héroe	ser visto como una persona débil y miedosa

Tabla 2 (elaboración propia)
Característica "miedo" de los arquetipos

Características de los arq...	
Arquetipo	Debilidad
El inocente	depositar la confianza
El amigo	cinismo
El sabio	indecisión
El cuidador	ser explotado por el resto
El explorador	no poder entablar ningún vínculo con las personas
El mago	ser una persona manipuladora
El creador	perfeccionismo
El amante	perder su personalidad con tal de complacer al resto
El bufón	ocultar sus verdaderas emociones bajo el humor
El rebelde	llevar sus idearios muy lejos llegando al punto de una revolución
El gobernante	autoritarismo
El héroe	soberbia

Tabla 3 (elaboración propia)
Característica "debilidad" de los arquetipos

Características de los arq...	
Arquetipo	Actitud
El inocente	despreocupada y alegre
El amigo	honesto, realista y abierto
El sabio	inteligente y sabia
El cuidador	compasión y altruismo
El explorador	persona inquieta
El mago	carismático
El creador	artística y soñadora
El amante	pasional
El bufón	risueño
El rebelde	carismática e independiente
El gobernante	liderazgo
El héroe	valentía

Tabla 4 (elaboración propia)
Característica "actitud" de los arquetipos

4.5. El arquetipo del héroe y sus etapas

Desde el inicio de los tiempos, se ha presentado el personaje del héroe como un ser que se enfrenta a un poder o figura maligna para ayudar y salvar al resto de la sociedad. Dentro de estos relatos, se pueden encontrar diversas figuras que tienen y cumplen los mismos objetivos y comparten rasgos de personalidad.

El antagonista es una figura imprescindible para que surja la necesidad de un héroe. En las historias mitológicas, este papel suele encarnarse en el llamado monstruo-tirano, un personaje cuyas acciones están guiadas por la codicia, la egolatría y la avaricia.

Todas las sociedades necesitan que, ante la aparición de la existencia de un monstruo, resurja un héroe. Esta es la persona elegida para enfrentarse al mal, que mediante un viaje de diversas etapas donde será puesto a prueba, logrará derrotar las fuerzas del mal y aportar sus nuevas enseñanzas adquiridas al resto de la sociedad.

El viaje del héroe se puede resumir en un total de tres partes: la partida, la iniciación y el retorno. Estos tres sectores recogen unas etapas por las que todos los héroes pasan en los relatos, tanto antiguos como modernos.

Estas nueve etapas del viaje del héroe vienen determinadas por el estudio realizado por Joseph Campbell y recogido en su libro *El Héroe de las mil caras* (2005)

1. La partida

La aventura del héroe empieza siempre con su auto-invocación. Según Joseph Campbell (2005):

> *Este primer estadio de la jornada mitológica, que hemos designado con el nombre de la llamada de 'la aventura', significa que el destino ha llamado al héroe y ha transferido su centro de gravedad espiritual del seno de su sociedad a una zona desconocida*. (p. 60)

Esto suele ser representado como una tierra lejana, un reino subterráneo, la cresta de una montaña o el cielo. La aventura también se puede ver impulsada por el héroe mismo (un ejemplo sería Teseo, que al llegar a Atenas escuchó la horrible historia del minotauro y quiso tomar parte en la aventura) o el héroe podía ser impulsado a la aventura por una figura del mal, que arrojaba al héroe a esas tierras nuevas (por ejemplo, Odiseo, cuyo barco fue propulsado por los vientos de Poseidón por todo el Mediterráneo).

La segunda fase del viaje es el recelo a la llamada, ya que el héroe duda o tiene miedo de lo que se pueda encontrar en la aventura y si será capaz de derrotar a la fuerza del mal. Esta etapa se considera crucial ya que muchos personajes abandonan el viaje heroico en este momento.

La tercera etapa destaca por un tercero que ayuda al héroe, para así decidir vencer su miedo y aventurarse a hacer el viaje. Joseph Campbell (2005), escribe que para aquellos que no han rechazado la llamada *"el primer encuen-*

tro de la jornada del héroe es con una figura protectora, a menudo una viejecita o un anciano, que proporciona al aventurero herramientas contra las fuerzas del dragón que debe aniquilar" (p. 70). Lo que representa esta figura es la fuerza protectora y benévola del destino. En las mitologías, este rol suele ser representado por una figura masculina que desarrolla alrededor suyo el papel de guía para otorgar al héroe amuletos y consejos.

La última etapa de la partida (primera fase) es el cruce del umbral, donde el héroe acompañado de su guía logra llegar al "guardián del umbral", que es el protector de la entrada al nuevo mundo desconocido donde el héroe se debe aventurar. Campbell (2005) comenta que *"la persona común está no solo contenta, sino orgullosa de permanecer dentro de los límites indicados y las creencias populares constituyen la razón de temer tanto el primer paso dentro de lo inexplorado."* (p. 77) Esto demuestra que el cruce del umbral se ve más como un gran paso donde los seres humanos deben ser valientes y no perecer al miedo, ya que por naturaleza, no cruzaría nunca la entrada, por temor a lo que espera en el otro lado. Esto se debe, según Campbell (2005), a que *"las mitologías populares pueblan con engañosas y peligrosas presencias cada lugar desierto fuera del tránsito normal de la aldea."* (p. 77). Lo que justifica por qué en los relatos mitológicos los lugares nuevos ya sean desiertos, junglas o bosques son hábitats para las criaturas mitológicas peligrosas o inofensivas. El héroe, para continuar con su viaje, debe adentrarse en la oscuridad de lo desconocido. Esto es descrito por Campbell (2005) como:

> la idea de que el paso por el umbral mágico es un tránsito a una esfera de renacimiento, que queda simbolizada en la imagen mundial del vientre, el vientre de la ballena. El héroe en vez de conquistar o conciliar la fuerza del umbral es tragado por lo desconocido y parecería que hubiera muerto. (p. 88)

Con esto, se da inicio a la siguiente etapa.

2. La iniciación

Tras cruzar el umbral, comienza la iniciación, donde el primer tramo encontrado es el camino de las pruebas, lugar que Campbell (2005) describe como:

> un paisaje de sueño poblado de formas curiosamente fluidas *y ambiguas, en donde debe pasar por una serie de pruebas (...) El héroe es solapadamente ayudado por el consejo, los amuletos y los agentes secretos del ayudante sobrenatural que encontró antes de su entrada a esa región. O pudiera ser, que por primera vez, descubra aquí la existencia de la fuerza benigna que ha de sostenerlo en este paso sobrehumano.* (p. 94)

En esta etapa, el héroe debe vencer a la fuerza del mal, primero enfrentándose a sus propios miedos, para luego vencer a su enemigo. En este proceso, el héroe se da cuenta de que su adversario no es tan distinto a él, sino que pudieran parecer incluso la misma persona. Campbell se refiere a esto describiendo cómo el héroe se ve obligado a abandonar el orgullo, la virtud, la belleza e incluso la vida misma y a doblegarse ante aquello que resulta completamente insoportable. En ese acto descubre que él y aquello que se le opone no pertenecen a naturalezas distintas, sino que comparten una misma esencia. La prueba supone una profundización del conflicto planteado en el primer umbral, y la pregunta continúa abierta: ¿es capaz el ego de enfrentarse a la muerte? (Campbell, 2005, p.104)

Esta última pregunta la podemos analizar de una manera tanto psicológica como espiritual. La primera manera busca el crecimiento personal, indagando un cambio para la persona, mientras que la segunda se centra más en la búsqueda de la verdad, siendo la muerte del yo la libertad para conseguir llegar a la realidad pura.

Una vez vencidos todos los monstruos, llega el encuentro con la diosa. Esta figura, normalmente presentada como una mujer para mostrar el papel de la maternidad, según Campbell (2005), *"es el modelo de todos los modelos de belleza, la réplica de todo deseo, la meta que otorga la dicha a la búsqueda terrena y no terrena de todos los héroes"* (p. 105). Esta imagen puede presentarse como una figura buena, llena de felicidad, perfección, belleza…, o como una figura mala, siendo la estampa materna negativa, que roba o abandona niños, que usa la agresividad para resolver problemas… En este punto del viaje, cuando Campbell (2005) se refiere al primer tipo de mujer, lo hace en estos términos: *"el encuentro con la diosa (encarnada en cada mujer) es la prueba final del talento del héroe para ganar el don del amor"* (p. 112). Seguidamente, Campbell comenta que, si el héroe en vez de ser masculino fuese femenino, estaría destinado a casarse con una deidad, ya que ha usado sus cualidades de belleza y bondad. Con este paso, en el que el héroe consigue ganar la capacidad del amor, se considera que también ha adquirido la vida misma

ya que el amor es considerado eterno e implica un cambio profundo dentro del protagonista.

Tras el encuentro con la diosa, el héroe deberá enfrentarse a la tentación. La tentación puede presentarse de diversas maneras, desde la egolatría hasta querer conseguir el máximo poder, pero esta tentación suele estar centrada en la figura de la mujer, la cual intenta conducirle por otro camino y desviarle de su viaje principal.

Tras superar la tentación, el héroe deberá reconciliarse con la figura paterna. Esto se debe a la asociación del padre con un monstruo. Se puede vislumbrar que, en la antigüedad, eran las figuras masculinas las que obligaban a los niños a salir de la protección que la madre aportaba, siendo arrastrados lejos de la seguridad y llevados a un nuevo mundo donde el terror gobierna. Por ello, Campbell (2005) resume este proceso así: *"la reconciliación no consiste sino en el abandono de este doble monstruo generado por el individuo mismo"* (p. 122). En otras palabras, el hijo debe perdonar al padre por haberlo introducido en el mundo y haberle privado del refugio de su madre, dejando atrás el periodo de la infancia.

Tras reconciliarse con el lado materno y paterno, el héroe llega a la etapa de Apoteosis, donde culmina su transformación alcanzando el saber completo y casi la divinidad. Campbell (2005) comenta esto diciendo : *" Como el Buddha mismo, este ser divino es el modelo del estado divino al que llega el héroe humano que ha atravesado los últimos terrores de la ignorancia (...) Ésta es la liberación potencial que está dentro de cada uno de nosotros y que cualquiera puede obtener a través del heroísmo."* (p.140) Por último dentro de esta etapa, el héroe se prepara para recibir su recompensa (el elixir) al cual puede ya puede acceder por haber llegado a este estado de iluminación.

El héroe consigue el elixir en la última etapa de la gracia última. Campbell (2005) explica el momento de alcanzar el elixir de este modo: *"allí no llega el ojo, ni la palabra, ni la mente: no lo conocemos, ni sabemos cómo enseñarlo. Es diferente de todo lo conocido, y está también más allá de lo desconocido"* (p. 176). En este momento, el héroe ha concluido la etapa de la iniciación y se deberá implicar en el viaje de regreso a su mundo de origen para poder compartir los saberes recogidos en esta travesía.

3. El retorno

El retorno comienza con la negativa al regreso, momento en el que el héroe tras haber completado su misión debe regresar a su tierra para compartir estos conocimientos adquiridos con el resto de la humanidad.

> *Cuando la misión del héroe se ha llevado a cabo (...) el héroe debe regresar con su trofeo transmutador de vida. El ciclo completo, la norma del monomito, requiere que el héroe empiece ahora la labor de traer los misterios de la sabiduría (...) donde la dádiva habrá de significar la renovación de la comunidad, de la nación, del planeta o de los diez mil mundos*. (Campbell, 2005, p. 179)

En esta etapa también vamos a encontrar la huida mágica, momento donde el héroe ha conseguido el elixir: o gana el favor de la deidad que lo protege y le facilita el proceso del regreso o le complica el retorno por haber desobedecido a la divinidad.

En el primer caso, si el héroe gana el reconocimiento de la diosa o del dios y *"luego es explícitamente comisionado a regresar al mundo con algún último elixir para la restauración de la sociedad, el último estadio de su aventura está apoyado por todas las fuerzas de su patrono sobrenatural"* (Campbell, 2005, p. 182). En el segundo caso:

> *Si el trofeo ha sido obtenido a pesar de la oposición de su guardián, o si el deseo del héroe de regresar al mundo ha sido resentido por los dioses o los demonios, el último estadio del círculo mitológico se convierte en una persecución agitada y a menudo cómica. Esta fuga puede complicarse con milagrosos obstáculos y evasiones mágicas*. (Campbell, 2005, p. 182)

Finalmente, este tramo concluye con la llamada del mundo exterior, que rescata al héroe. Esta invocación va a ser el empuje final que hará llevar al valiente a la penúltima etapa, la resurrección.

La etapa de la resurrección es el cruce del umbral del regreso. El héroe se aventura lejos de la tierra conocida *"para internarse en la oscuridad; allí realiza su aventura, o simplemente se nos pierde, o es aprisionado, o pasa peligros; y su regreso es descrito como un regreso de esa zona alejada"* (Campbell, 2005, p. 200). En este tramo el héroe debe decidir si volver definitivamente o no. Se plantea cómo va a transmitir el conocimiento obtenido a otros y si merece la pena que esta sabiduría caiga en las manos del resto, ya que *"¿por qué volver a entrar a un mundo así? ¿Por qué intentar hacer plausible, o por lo menos interesante, la expe-*

riencia de la felicidad trascendental a hombres y mujeres, consumidos por las pasiones?" (Campbell, 2005, p. 201).

La última etapa contempla el regreso del héroe al mundo ordinario, tras su transformación personal. Trae consigo el elixir, que puede ser conocimiento, objeto o poder que no le beneficia solamente a él, sino a toda su comunidad. Esto marca el final del viaje del héroe.

Campbell (2005) resume todo este proceso:

El héroe mitológico abandona su choza o castillo, es atraído, llevado o avanza voluntariamente hacia el umbral de la aventura. Allí encuentra la presencia de una sombra que cuida el paso. El héroe puede derrotar o conciliar esta fuerza y entrar vivo al reino de la oscuridad, o puede ser muerto por el oponente y descender a la muerte. Detrás del umbral, después, el héroe avanza a través de un mundo de fuerzas poco familiares y, sin embargo, extrañamente íntimas, algunas de las cuales lo amenazan peligrosamente, otras le dan ayuda mágica. Cuando llega al nadir del periplo mitológico, pasa por una prueba suprema y recibe su recompensa. El triunfo puede ser representado como la unión sexual del héroe con la diosa madre del mundo, el reconocimiento del padre-creador, su propia divinización o también, si las fuerzas le han permanecido hostiles, el robo del don que ha venido a ganar; intrínsecamente es la expansión de la conciencia y por ende del ser. El trabajo final es el del regreso. Si las fuerzas han bendecido al héroe, ahora este se mueve bajo su protección; si no, huye y es perseguido. En el umbral del retorno, las fuerzas trascendentales deben permanecer atrás; el héroe vuelve a emerger del reino de la congoja. El bien que trae restaura el mundo. (p. 223)

5. ESTUDIO COMPARATIVO

En este apartado procederemos a comparar a los personajes en términos de características y estructura de sus respectivos viajes, aquello que les convertirá en héroes. Vamos a analizar así, cómo cada uno de ellos se ajusta a este armazón y qué variaciones encontraremos. El cuadro que aparece a continuación recoge la equiparación realizada basándonos en las doce etapas del viaje enumeradas en el libro de Campbell.

Comparación etapas viaje...

Etapa del vaje (Campbell)	Aquiles	Thor	Yamato-Takeru
1. Mundo ordinario	Niño en Ftía, hijo de Peleo	Vive en Asgard como dios-guerrero	Príncipe en la corte de Yamato
2. Llamada a la aventura	La guerra de Troya lo convoca	Los dioses le piden recuperar Mjölnir	El emperador le ordena someter a los Kumaso
3. Rechazo del llamado	Vacila ante la profecía de muerte	Al principio duda, pero acepta	Temor a la muerte, pero obedece
4. Encuentro con el mentor	Chiron le enseña (sabiduría)	Odín le guía (sabiduría)	El sabio Kōshin le aconseja
5. Cruce del umbral	Zarpa hacia Troya	Viaja a Jotunheim	Parte hacia las provincias rebeldes
6. Pruebas, aliados y enemigos	Combate a Héctor y a los dioses	Enfrenta a gigantes y a Loki	Derrota a los Kumaso y a los monstruos
7. Acercamiento a la cueva interior	Se acerca a su talón vulnerable	Descubre el secreto del Ragnarök	Busca la espada Kusanagi en el santuario
8. Prueba suprema	Enfrenta a Héctor y a la muerte	Lucha contra el dragón Níðhöggr (símbolo)	Enfrenta a la enfermedad que lo mata
9. Recompensa (el elixir)	| Gana gloria y la armadura divina	Obtiene Mjölnir (poder)	Recibe la espada Kusanagi (legitimidad)
10. Camino de regreso	Vuelve a la batalla final	Regresa a Asgard antes del Ragnarök	Regresa al palacio, pero muere en el camino
11. Resurrección	Muere, pero su nombre vive	Muere tras matar a la seripiente Jörmungandr	Se transforma en ave blanca (espíritu)
12. Regreso con el elixir	Inspira a futuros héroes griegos	Defiende a la humanidad eternamente	Protege a Japón como kami

Tabla 5 (Elaboración propia)
Comparación de las etapas del viaje del héroe

Nota: Esta tabla muestra el viaje del héroe en Aquiles, Thor y Yamato-Takeru divididas en sus respectivas etapas

El cuadro compara las etapas del viaje del héroe entre las historias de Aquiles (mitología griega), Thor (mitología nórdica) y Yamato-Takeru (mitología japonesa), revelando los siguientes **resultados:**

1. Todos los héroes empiezan sus andaduras como figuras destacadas en sus respectivos contextos: Aquiles como niño noble, Thor como dios guerrero y Yamato como príncipe. Todos tienen una situación de privilegio social.
2. La "llamada a la aventura" surge por mandato externo, cada uno dictado por aquellos que se consideran sus superiores: el Rey Agamenón ordena a Aquiles ir a la guerra, los dioses ordenan a Thor recuperar Mjolnir como una misión divina y, por último, es también un rey quien ordena a Yamato-Takeru, como deber imperial, someter a los kumaso. Aunque los tres muestran dudas (rechazo del llamado), finalmente aceptan los mandatos recibidos.
3. Cada héroe va a contar con un mentor sabio que le guía y con su ayuda, cada uno de los tres, cruzará un umbral hacia lo desconocido.
4. Los tres héroes se enfrentan a enemigos y a verdades profundas: vulnerabilidad, destino o poder oculto.
5. La "prueba suprema" en todos los casos implica confrontar y aceptar la muerte, ya sea de forma directa o de forma simbólica. Todo héroe clásico ha de morir.
6. En el caso de "la recompensa" que cada héroe recibe no se ve coincidencia, varía: gloria, poder o legitimidad.
7. No todos recorren el "camino de regreso", pues solo uno de ellos vuelve. Aquiles y Yamato mueren, Thor regresa antes del fin.
8. En la "resurrección", sus legados perduran: como inspiración, defensor eterno o espíritu divinizado. Está demostrado que todos los héroes mitológicos deben tener una resurrección como ejemplos a seguir.
9. Se constata que el "regreso con el elixir" representa su impacto duradero en la cultura: héroes griegos, humanidad protegida o Japón espiritual, respectivamente. Todo acto heroico ha de beneficiar a toda la sociedad, no serían héroes si solo tuviesen beneficio propio o de una parte reducida de la humanidad. Así, el esquema de Campbell une mitos de distintas culturas y épocas en una narrativa universal.

Ahora nos centraremos en las coincidencias y diferencias específicas por etapa:

Coincidencias por etapa

Etapa del vaje (Campbell)	Nº coincidencias	Nº discrepancias	Nivel de coincidencia
1. Mundo ordinario	2	1	Alta
2. Llamada a la aventura	0	3	Ninguna
3. Rechazo del llamado	2	1	Alta
4. Encuentro con el mentor	3	0	Completa
5. Cruce del umbral	3	0	Completa
6. Pruebas, aliados y enemigos	3	0	Completa
7. Acercamiento a la cueva interior	0	3	Ninguna
8. Prueba suprema	3	0	Completa
9. Recompensa (el elixir)	2	1	Alta
10. Camino de regreso	3	0	Completa
11. Resurrección	3	0	Completa
12. Regreso con el elixir	2	1	Alta

Tabla 6
Coincidencias por etapas del viaje del héroe

NOTA: Esta tabla muestra las coincidencias y discrepancias de los tres héroes seleccionados para el estudio

En "el mundo ordinario" encontramos semejanzas en Aquiles y Thor, ambos hijos de personajes poderosos, siendo Aquiles descendiente de Peleo (nieto de Zeus) y Thor hijo de Odín (dios padre en la mitología nórdica). Por el contrario, Yamato Takeru aun siendo príncipe, no comparte relación familiar con ningún dios.

En la segunda etapa, encontramos que todos los héroes tienen que enfrentarse al miedo e inseguridad que les produce embarcarse en la aventura.

En la tercera etapa, coinciden de nuevo Aquiles y Thor, los cuales solo vacilan, pero Yamato es el que más emociones desprende, al tener miedo de perder la vida en este viaje. También destaca el comportamiento de Aquiles, que no tiene miedo, ya que sabe que su nombre será recordado eternamente.

En la cuarta fase, "encuentro con el mentor", todos los héroes coinciden, cada uno conociendo a un sabio que les enseñará e iluminará el camino para que puedan enfrentarse al viaje.

En la quinta etapa, vuelven a coincidir los tres, todos realizando el cruce del umbral partiendo hacia un lugar donde no han estado antes.

En el sexto período, los tres coinciden de nuevo, todos enfrentados a su enemigo final.

En el séptimo tramo, ninguno coincide ya que Aquiles descubre que su talón es su punto débil, Thor descubre la

existencia del fin del mundo, denominada Ragnarök, y Yamato se pone en búsqueda de una espada mágica.

En el octavo trecho, encontramos que todos los héroes vencen en la prueba final para recibir el elixir donde todos obtienen un objeto de poder, tienden a ser objetos usados en el ámbito guerrero como armas y armaduras.

La única diferencia en la novena etapa se encuentra en el caso de Aquiles, que además del objeto mágico (elixir), gana también la gloria que le había sido prometida en la profecía.

En la décima fase coinciden todos, al volver a sus respectivos puntos de inicio.

En la undécima etapa llamada "la resurrección", todos los héroes fallecen.

En la última etapa, existe una coincidencia entre Thor y Yamato-Takeru, los cuales al ser dioses protegen a los hombres por la eternidad, mientras que Aquiles al ser un semidiós, fallece y solo nos llega su legado y leyenda.

6. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido comprobar que las mitologías nórdica, griega y japonesa; pese a su distancia geográfica, temporal y cultural, comparten una estructura arquetípica común en la configuración del héroe y en el desarrollo de su viaje. A través del análisis comparativo de las etapas del viaje del héroe propuestas por Joseph Campbell, así como de la revisión de los arquetipos junguianos presentes en cada tradición, se confirma la hipótesis inicial: **los mitos estudiados reproducen un patrón narrativo universal que articula el proceso de transformación del héroe.**

En primer lugar, la comparación de Aquiles, Thor y Yamato-Takeru revela que los tres parten de contextos sociales privilegiados y encarnan, desde su origen, características heroicas que los sitúan como figuras excepcionales dentro de sus respectivas culturas. Esta coincidencia inicial facilita la aparición de un itinerario comparable en las etapas siguientes, donde se observan paralelismos significativos en la llamada a la aventura, la presencia de un mentor y el cruce del umbral hacia lo desconocido.

En segundo lugar, el análisis evidencia que todos los héroes deben enfrentarse a pruebas que no solo tienen un carácter externo (enemigos, monstruos o desafíos físicos), sino también un componente profundamente simbólico, que remite a la superación del miedo, la aceptación del destino y la confrontación con su propia vulnerabilidad. Esta coincidencia reafirma la vigencia de los arquetipos planteados por Jung, pues los tres relatos reproducen patrones psicológicos comunes asociados a la transformación interior del individuo.

Asimismo, puede concluirse que, aunque los tres héroes atraviesan la "prueba suprema", las recompensas obtenidas y el modo en que enfrentan el retorno presentan diferencias notables, especialmente en relación con la muerte y la resurrección simbólica. Mientras Thor y Yamato-Takeru alcanzan una dimensión posterior vinculada a lo divino o a la protección eterna, Aquiles, pese a su grandeza, se convierte en un modelo de gloria heroica cuyo legado se conserva únicamente a través del mito. Estas variaciones confirman que cada cultura adapta el arquetipo heroico a su propia visión del mundo, pero sin alterar la estructura profunda del monomito.

Finalmente, y gracias al uso de las tablas comparativas elaboradas durante la investigación, se ha podido comprobar que todas las etapas fundamentales del viaje del héroe están representadas en las tres mitologías, aunque con matices propios de cada tradición. Esta recurrencia demuestra **la existencia de un imaginario común** que trasciende las fronteras culturales y sostiene que **el viaje del héroe es**, en última instancia, **una expresión simbólica de la experiencia humana universal:** la necesidad de enfrentarse a la adversidad, transformarse y devolver ese aprendizaje a la comunidad.

En conjunto, los resultados obtenidos validan la hipótesis inicial y permiten afirmar que las mitologías nórdica, griega y japonesa están unidas por una estructura arquetípica compartida, en la que el héroe actúa como mediador entre el mundo ordinario y lo extraordinario, encarnando valores, temores y aspiraciones comunes a toda la humanidad.

Esto nos hace afirmar que, si bien, todas las culturas son distintas entre sí, hay una coincidencia muy llamativa al narrar sus valores y desafíos a través de modelos similares. Estos modelos los adapta cada sociedad a sus creencias y peculiaridades.

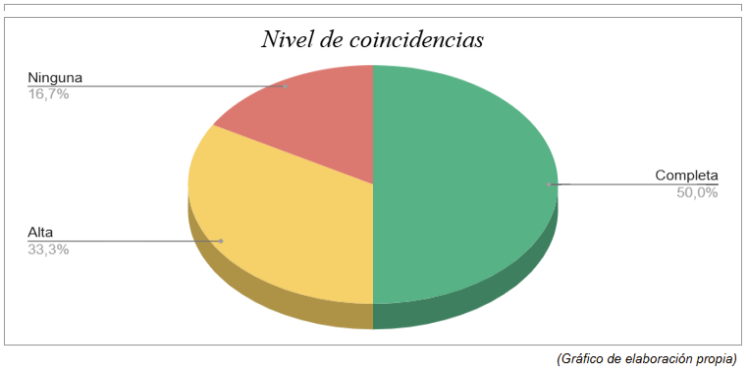


Figura 1
Nivel de coincidencias

NOTA: Esta figura representa las coincidencias en las etapas de los tres héroes

7. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Incorporación de figuras heroicas femeninas en el análisis comparativo

Una ampliación natural de este estudio consistiría en examinar heroínas pertenecientes a las tradiciones nórdica, griega y japonesa, como Brynhildr, Atalanta o Amaterasu, con el fin de evaluar si reproducen la misma estructura arquetípica identificada en los héroes masculinos. Este enfoque permitiría determinar hasta qué punto el viaje de la heroína comparte, transforma o matiza las etapas clásicas del monomito, al tiempo que revelaría posibles sesgos culturales en la construcción del arquetipo heroico.

Estudio de la representación musical de arquetipos mitológicos

Una línea de investigación relevante consistiría en examinar cómo los arquetipos heroicos y sus equivalentes femeninos han sido traducidos al lenguaje musical a lo largo de la historia. El análisis de óperas, cantatas, poemas sinfónicos o música ceremonial permitiría observar qué elementos de la narrativa mítica se mantienen, cuáles se intensifican y cómo la música contribuye a reforzar o reinterpretar la identidad del héroe o la heroína.

Comparación entre patrones sonoros asociados a arquetipos en diferentes culturas

Tras finalizar esa investigación musical previa, sería pertinente llevar a cabo un estudio comparativo de los motivos armónicos vinculados a figuras mitológicas en tradiciones occidentales y orientales. Esta aproximación permitiría identificar patrones universales, como el uso de determinados intervalos, timbres o ritmos para expresar poder, sacrificio o transformación y, al mismo tiempo, reconocer las particularidades estéticas propias de cada cultura.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MONOGRAFÍAS

- Branston B. (1985). *Dioses y héroes de la mitología vikinga*. Ediciones generales Anaya
- Campbell J. (2005) *El héroe de las mil caras*. Fondo de cultura económica
- Durand, G. (2005). *Las estructuras antropológicas del imaginario*. Madrid: Fondo de Cultura Económica de España.
- Eliade, M. (2020). *Historia de las creencias y las ideas religiosas*. Paidós
- Gibson, M. (1986). *Monstruos, dioses y hombres de la mitología griega*. Ediciones generales Anaya
- Jung, C. (1984). *El hombre y sus símbolos*. Caralt
- Lafuente, E. (2017) *Historia de la psicología*. UNED
- Loarte, J. (2023). *4 libros en 1 mitología*. Editorial Independently Published
- Losada, J.M. (2015). *Nuevas Formas del Mito*. Logos Verlag Berlin.

WEBGRAFÍA

- https://www.literarysomnia.com/articulos-literatura/mitocritica/
- https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/73550/revistas_uva_es__minerva_article_view_9025_6520.pdf?sequence=3
- https://es.scribd.com/document/247239837/0987654-El-Pensamiento-de-Gilbert-Durand-El-Regimen-Nocturno
- https://es.scribd.com/doc/193558617/Regimen-Diurno-y-Regimen-Nocturno-g-durand
- https://es.wikipedia.org/wiki/Arquetipo_(psicolog%C3%ADa_anal%C3%ADtica)#Ejemplos
- https://www.psicoactiva.com/blog/los-arquetipos-de-jung/
- https://posgrados.uav.online/wp-content/uploads/wpcfto_files/02ba3c3ccdc06587525d60facca8a307Grataco%CC%81s,%20M.%20(2020).%20Arquetipos%20de%20Jung%20definicio%CC%81n,%20caracteri%CC%81sticas%20y%20tipos.%20Lifeder.pdf
- https://pranamanasyoga.es/los-arquetipos-del-inconsciente-colectivo/
- Real Academia Española. (s.f.). Héroe: https://dle.rae.es/h%C3%A9roeReal Academia Española. (s.f.). Mito: https://dle.rae.es/mito

EL ALGORITMO DEL HIT VERANIEGO

ANÁLISIS DE LA CANCIÓN DEL VERANO DESDE 1960 AL PRESENTE

Leire Ovejero Díez

Tutora: Irene Nieto Cerezo

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a mi tutora Irene su apoyo a lo largo de toda la investigación, sus consejos y su guía no solo durante el proyecto sino también en el aula como profesora de Física.

Al IES Guadarrama, por brindarnos la opción de poder investigar sobre un tema que nos guste, acompañados y guiados por nuestros profesores.

Así mismo a mi familia: mis padres -por su apoyo incondicional y constante- y mi hermana -con quien voy siempre a la par-; gracias por estar siempre ahí.

Y a mis compañeros y amigas, por el apoyo que nos brindamos y por dotar a la clase de una sensación de acompañamiento.

ÍNDICE

1. Resumen.....432
2. Abstract.....432
3. Resumé.....432
4. Introducción.....432
5. Justificación.....433
6. Objetivos.....433
7. Metodología.....433
8. Marco teórico.....434
8.1 Acústica.....434
8.1.1 Fisiología de la audición.....434
8.1.2 Ondas de sonidos musicales.....435
8.1.2.1 Cualidades de la onda.....435
8.1.2.2 Cualidades del sonido.....436
8.2 Canciones y composición.....437
8.2.1 Escalas, acorde y tonalidad.....437
8.2.2 Ritmo y medida.....439
8.2.3 Emociones y escalas.....440
8.2.3.1 Teoría de los afectos.....440
8.2.4 Instrumentación y sintetizadores.....440
9. Hipótesis.....440
10. Recogida y análisis de datos.....441
11. Conclusiones.....445
11.1 Dificultades encontradas.....447
12. Próximas líneas de investigación.....447
13. Referencias bibliográficas.....447
14. Anexos.....448

1. RESUMEN

La *música de verano* es uno de los subgéneros más criticados, pero aún así es consumida desde hace décadas, nos atrae. No solo desde un enclave musical, sino desde un punto de vista científico y bajo el campo de la física, ¿hay un componente casi adictivo que asegura el éxito de estas canciones?

Después de llevar a cabo una revisión bibliográfica sobre la acústica y la composición, y recopilar los *hits* de verano de los últimos 65 años en España, se han analizado las estructuras de estas canciones con el propósito de encontrar patrones análogos que aseguren su popularidad entre las masas.

Hemos segmentado el análisis en seis categorías: melodía, armonía, ritmo, duración, letra e instrumentos. Nos hemos apoyado en software basado en IA, tal como *Moises, Audacity, Tunebat* e incluso desarrollado un programa en *Python* que utiliza una librería de *OpenAI*.

Desde la tonalidad, los tempos o los lemas de las letras, hemos analizado la evolución de esta música a través de las décadas, para entenderlas desde contextos sociales, políticos y económicos.

Veremos finalmente que los prejuicios no siempre se sostienen y que, hasta la música más simple, nos define como cultura y sociedad.

Palabras clave: música de verano, física, acústica, hits, popularidad, software, evolución, contextos, cultura.

2. ABSTRACT

Summer music is one of the more criticised subgenres, nonetheless, it has been consumed for decades, it draws us in. Not only from a musical perspective, but from a scientific point of view and the field of Physics, is there an almost addictive factor that ensures the success of these songs?

After conducting a bibliographic review about acoustics and composition, and assembling the *summer hits* from the last 65 years in Spain, we have analysed the structure of these songs with the purpose of identifying corresponding patterns that ensure their popularity among the masses.

We have segmented the analysis in six categories, melody, harmony, rhythm, duration, lyrics and instruments. We have built on software based on AI, such as *Moises, Audacity, Tunebat* and even developed a program in *Python* that uses an *Open AI* library.

From the key, the tempo or the slogans of the lyrics, we have analysed the evolution of this music throughout the decades, to understand it through a social, political and economic framework.

We will discover finally that prejudice doesn't always maintain itself and , even the simplest music, defines us as culture and society.

Key words: summer music, physics, acoustics, hits, popularity, software, evolution, framework, culture.

3. RESUMÉ

Les *chansons d'été* sont unes de les plus blâmées sub genres, mais celles-ci sont consommées depuis des décennies. Non seulement sur un enclave musical, mais sur un point de vue scientifique et sur le champ de la physique, existe-t-il un élément aussi addictif qui assure le succès de ces chansons?

Après avoir fait une révision bibliographique dans l'acoustique et la composition, et recueilli les *hits d'été* des dernières 65 années en Espagne, nous avons analysé les structures de ces chansons avec l' objectif de découvrir des formes analogues qui assurent leur popularité entre les masses.

Nous avons fragmenté notre recherche entre six catégories: mélodie, harmonie, rythme, durée, parole et instruments. Nous nous aidons de software basé sur l'IA, comme *Moises, Audacity, Tunebat* et aussi développé un programme en *Python* qui utilise une librairie de *Open AI*.

À partir de tonalité, tempo ou les slogans des chansons, nous avons analysé l'évolution de cette musique à travers les décennies, pour les comprendre à travers les contextes sociaux, politiques et économiques.

Nous verrons finalement que les préjudices ne se tiennent pas toujours et que, jusqu'à la musique la plus simple, nous définit comme culture et société.

Mots clés: chansons d'été, physique, acoustique, hits, popularité, software, evolution, contextes, culture.

4. INTRODUCCIÓN

Todos hemos recibido alguna vez el comentario de nuestros padres o abuelos: *la música de hoy en día ya no es música*. Especialmente en épocas festivas, se tiene la idea de que las canciones se vuelven más simples y machaconas, siendo de esta manera más criticadas aún.

La denominada *música de verano* corresponde a aquellas canciones más escuchadas entre los meses de junio, julio y agosto, cuando el sol y la playa conviven entre nosotros.

No son un género oficial en sí mismo, como el rock & roll o el blues, pero son fácilmente reconocibles, como la música de Navidad.

Con este proyecto intentamos aclarar las características de estas canciones y darles el valor que se merecen (o no), de forma científica e imparcial, así como intentar comprender qué las hace tan adictivas.

5. JUSTIFICACIÓN

La música es inherente a los seres humanos, ya sea interpretada o escuchada, mas creemos que cada vez deriva en estructuras más simples. Estudiando en el conservatorio de música aquellas piezas que son consideradas 'grandes obras' de la historia, me di cuenta de que muchas veces son más sencillas de lo que pensamos. Por otro lado, la música y la física están íntimamente ligadas, siendo el estudio de las ondas y los sonidos la esencia de ambas parcelas, aunque normalmente separadas al considerarse una, artística y la otra, científica.

Física es una de mis asignaturas favoritas, así como el violín en el conservatorio. Por eso, se me ocurrió relacionar ambas disciplinas añadiendo la actualidad de la que suelen carecer los conservatorios.

Así, me decanté por un estudio técnico de la música popular, escogiendo la categoría del intervalo de verano, esencialmente por su mala fama. Sumado a ello, el propósito del estudio es analizar su evolución desde épocas de mis antepasados hasta la actualidad.

6. OBJETIVOS

Como metas más generales nos hemos propuesto:

- Estudiar y entender el funcionamiento de la acústica
- Analizar estructuras y características de la denominada música de verano
- Analizar ondas y sus características físicas
- Encontrar los distintos paradigmas entre las décadas de música de verano
- Investigar sobre la relación emocional de la música

Y entre aquellos más concretos encontramos:

- Aprender a usar aplicaciones de edición y análisis musical
- Analizar los patrones de onda de distintos instrumentos para identificar sus timbres
- Analizar las letras de las canciones para identificar los temas más recurrentes

7. METODOLOGÍA

Primeramente hicimos una revisión bibliográfica, consistente en la acústica y las propiedades de las ondas, así como las características básicas, no solo de los sonidos y las notas musicales, sino también de la composición de la música como macroestructuras y la elección de los instrumentos usados.

Posteriormente, elaboramos una lista de las canciones en las que nos íbamos a centrar. Escogimos dos canciones por año, seleccionadas entre catálogos de dos fuentes: revista *Discomanía* (publicada por Nicolás Ramos Pintado, quien ha trabajado como locutor de radio y ha ostentado cargos directivos en Onda Cero, así como en la televisión Valenciana) y las listas de verano de *Los 40 Principales*.

Nos decidimos a analizar seis categorías de la música: melodía, armonía, ritmo, duración, letra e instrumentos.

Para la melodía hemos usado el programa *Tunebat,* un analizador de canciones de *Spotify*, gratuito y en línea (https://tunebat.com/). Para confirmar que no había errores, estos datos los hemos contrastado con la aplicación *Moises*, útil para el análisis armónico y rítmico. *Moises* es una aplicación creada en 2019 y que, a través de su IA, es capaz de separar, transformar y eliminar voces armónicas así como dar estadísticas de tonalidad o ritmo, entre otras.

Para concretar la versión de las canciones que íbamos a analizar, hemos usado *Spotify*, una aplicación de reproducción de música en línea con más de 713 millones de usuarios en todo el mundo.

En cuanto a la letra hemos optado por *Genius*, la enciclopedia de música más grande del mundo, según ellos mismos indican, con más de 2 millones de contribuidores.

Y además, hemos adaptado un programa desarrollado en Python (con IDE Pycharm), que procesa un fichero de audio a través de la librería *Whisper* (una colección de código prescrito por *OpenAI*, que es capaz de reconocer automáticamente voz) y con su transcripción de texto, crea una lista ordenada descendentemente de sus palabras más usadas.

El código fuente es el siguiente:

transcribir.py

```python
import re
from collections import Counter
import whisper

def transcribir_audio(ruta_audio: str) -> str:  1 usage
    # Transcribe audio usando OpenAI Whisper local (modelo tiny)
    print("Cargando modelo Whisper...")
    modelo = whisper.load_model("tiny")
    print("Transcribiendo audio...")
    resultado = modelo.transcribe(ruta_audio, fp16=False)
    return resultado["text"]

def limpiar_y_contar_palabras(texto: str, n: int = 20):  1 usage
    # Limpia el texto y devuelve las palabras más frecuentes
    texto = texto.lower()
    texto = re.sub( pattern: r"[^a-záéíóúüñ0-9\s]",  repl: "", texto, flags=re.UNICODE)
    palabras = texto.split()
    contador = Counter(palabras)
    return contador.most_common(n)

def main():  1 usage
    # El archivo de audio que queremos trascribir
    ruta_audio = "comunicando.mp3"
    # --- Transcripción ---
    texto = transcribir_audio(ruta_audio)
    print("\n=== TRANSCRIPCIÓN ===")
    print(texto)
    print("\n====================\n")
    # --- Conteo ---
    print("=== PALABRAS MÁS USADAS ===")
    palabras_frecuentes = limpiar_y_contar_palabras(texto, n: 100)
    for palabra, frecuencia in palabras_frecuentes:
        print(f"{palabra}: {frecuencia}")

if __name__ == "__main__":
    main()
```

Figura 1: Código *Pycharm* (fuente: elaboración propia)

Un ejemplo del resultado se puede consultar en Anexos I.

Finalmente, para las ondas de los instrumentos hemos hecho uso de *Audacity*, la aplicación 'opensource' de edición de audio más usada internacionalmente.

8. MARCO TEÓRICO

8.1 Acústica

8.1.1 Fisiología de la audición

8.1.2 Ondas de sonidos musicales

8.1.2.1 Cualidades de la onda

8.1.2.2 Cualidades del sonido

8.2 Canciones y composición

8.2.1 Escalas, tonalidad y temperamento

8.2.2 Ritmo y medida

8.2.3 Emociones y escalas

8.2.3.1 Teoría de los afectos

8.2.4 Instrumentación y sintetizadores

8.1 Acústica

La acústica puede ser definida como *"la ciencia que estudia la producción, transmisión y percepción del sonido tanto en el intervalo de la audición humana como en las frecuencias ultrasónicas e infrasónicas." (Álvarez, A.A, 2005).* Relaciona el sonido de forma matemática con leyes físicas.

El sonido a su vez es *"una vibración que se propaga como una onda acústica, a través de un medio de transmisión como un gas, líquido o sólido." (Fundación Aquae, 2016).* Pueden ser perceptibles o no para el oído humano, así como ser notas musicales o solo ruidos, dependiendo de sus características como ondas.

Todos los sonidos tienen en común que son ondas que se propagan de la misma forma que si tiramos una piedra al agua y se generan ondulaciones en la superficie, pero de manera tridimensional. Las ondas generan cambios de presión en el aire que, aunque no podemos ver, nuestros oídos detectan.

8.1.1 Fisiología de la audición

Cuando la onda llega a nuestros oídos, *nuestros tímpanos según John Powell (2012)* se mueven hacia dentro y hacia fuera como camas elásticas movidas por los cambios de presión en el aire. (pg. 30) Por este movimiento se ven también accionados los huesos del oído medio que mueven el líquido de la cóclea. Allí, *"el llamado órgano de Corti, transforma el estímulo mecánico en potenciales eléctricos, el único lenguaje que el cerebro entiende" (Rubia Vila, F.J, 2018).*

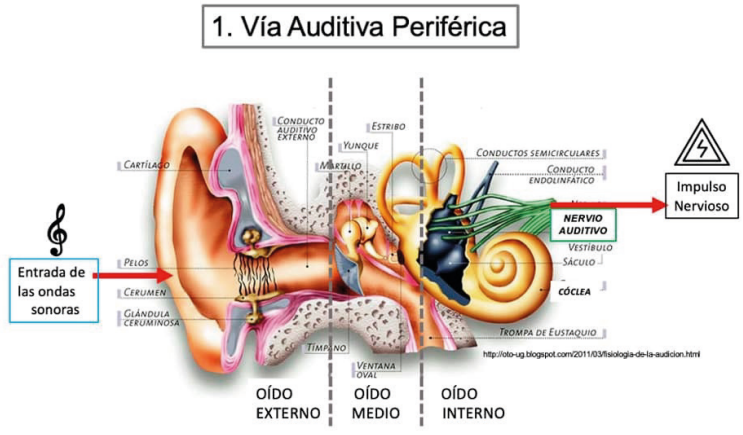


Figura 2: Fisiología del oído (fuente: Sena System (2021) ¿Qué es?)

Las neuronas situadas en la cóclea interpretan estos impulsos y envían la información recopilada por el nervio auditivo hasta el lóbulo temporal del cerebro, más concretamente a la corteza auditiva.

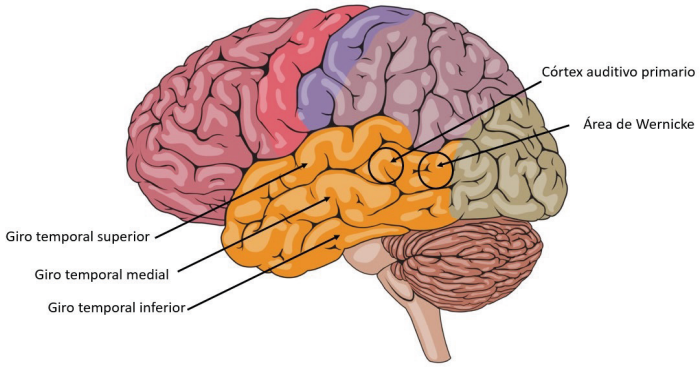


Figura 3: Lóbulos temporales (fuente: Neuropsicología y cerebro (s.f.), Función de los lóbulos temporales).

En la corteza auditiva, se procesan los sonidos y se identifica qué nota es, la duración, el volumen o incluso patrones de ritmo o melodías de lo que se esté escuchando. Esa información luego es distribuida a otras partes del cerebro como la corteza frontal que procesan, por ejemplo, la letra.

8.1.2 Ondas de sonidos musicales

Las ondas de las que estamos tratando son ondas acústicas, que tienen como característica que necesitan un medio para propagarse, ya sea por el aire, agua o a través de un sólido. Así mismo, es una onda mecánica ya que se genera por una vibración.

Es esencial diferenciar entre sonido y nota musical.

Lo que distingue la creación de sonidos de la construcción de notas musicales es si son ondas periódicas o no. Solo aquellas ondas que tengan un patrón que se repite continuamente son notas musicales. El resto de sonidos, como el chirrido de una puerta al cerrarse o el agua hirviendo, son solo un patrón de ondas caótico y no periódico que, por tanto, no genera una nota musical.

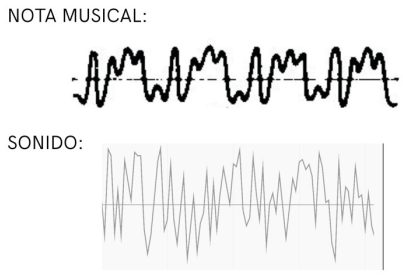
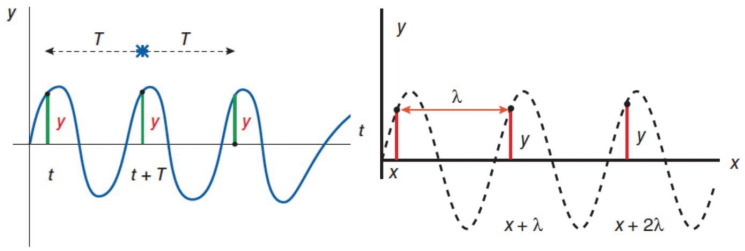


Figura 4: Diferencia entre nota musical y sonido no periódico (fuente: Elaboración propia)

8.1.2.1 Cualidades de la onda

A nosotros nos interesan las notas musicales, por ende, las ondas periódicas.

Esta clase de ondas tienen unas características que no solo influyen en su forma física sino también en su percepción. Se trata de frecuencia, amplitud, longitud de onda y velocidad.



Figuras 5 y 6: Propiedades de la onda (fuente: McGraw Hill, (s.f.))

La frecuencia es *"El número de oscilaciones o ciclos que ocurren en una onda sonora por segundo, medido en Hercios (Hz)." (Svantek, (s.f.))*.

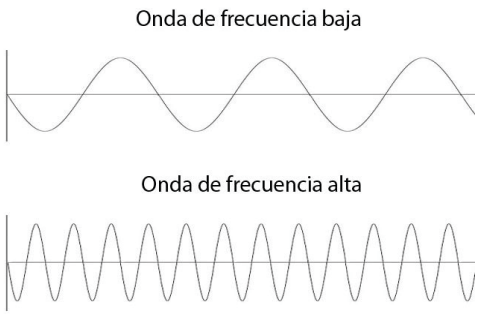


Figura 7: Frecuencia de una onda periódica (fuente: Esero, (s.f.))

Como hemos mencionado antes, los sonidos pueden ser o no, perceptibles al oído humano. Para que podamos captar los sonidos tienen que tener una frecuencia de onda concreta porque *"Las ondas de sonido por encima de 20 kHz se conocen como ultrasonido y no son audibles para los humanos. Las ondas sonoras por debajo de 20 Hz se conocen como infrasonido." (Aquae Fundación, 2016)*.

La frecuencia también determina el tono, si un sonido es más grave o más agudo. Las frecuencias más altas corresponden a un sonido más agudo y las frecuencias más bajas a sonidos graves. Más adelante nos centraremos con más profundidad en el tono.

La amplitud es *"el desplazamiento máximo de partículas de su posición de equilibrio" (Svantek, (s.f.))*. Está relacionada con el volumen de los sonidos y con la cantidad de

energía que transportan, siendo ondas con mayor amplitud aquellas con mayor volumen.

La longitud de onda es *"La distancia física entre dos puntos consecutivos en fase de una onda, como de cresta a cresta o de valle a valle."(Svantek, (s.f.))*. Es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda y se relaciona con la velocidad a través de la siguiente fórmula.

$v = \lambda * f$

La velocidad de onda es *"la distancia que una onda recorre en un intervalo de tiempo determinado."(Teachy, (s.f.))* Depende del medio en el que se esté propagando y no del objeto que lo esté emitiendo.

8.1.2.2 Cualidades del sonido

A una nota musical se la puede definir con cuatro variables: tono, timbre, duración y volumen.

El tono es la cualidad que nombra a las notas, desde 'do' hasta 'si'. Se refiere a lo aguda o grave que es y es controlada por la frecuencia de la onda. Dependiendo del número de vibraciones de la cuerda de un instrumento, por ejemplo un violín, conseguiremos un sonido u otro.

Las notas que actualmente utilizamos, son universales y tienen una frecuencia muy concreta. Se agrupan cada 12 notas, en octavas. Si tenemos en cuenta el teclado de un piano hablamos de 7 teclas blancas y 5 negras.

Hay 7 notas naturales por octava que son las que dan nombre a los tonos: Do, Re, Mi, Fa, Sol, La y Si (C, D, E, F, G, A y B respectivamente en cifrado americano). Además hay 5 notas alteradas que añaden la palabra bemol (♭) o sostenido (#) al tono más cercano y crean semitonos. Las notas negras también se llaman notas enarmónicas dado que pueden coger el nombre de dos tonos, uno con bemol y el otro con sostenido, y ambas tienen la misma frecuencia. Por ejemplo, Do # y Re ♭ tienen ambos 277,183 Hz.

Si de nuevo pensamos en el teclado de un piano, al tocar La central (La4) siempre vibrará la cuerda con una frecuencia de 440Hz porque es la estándar. Por eso se toma como referencia en la afinación.

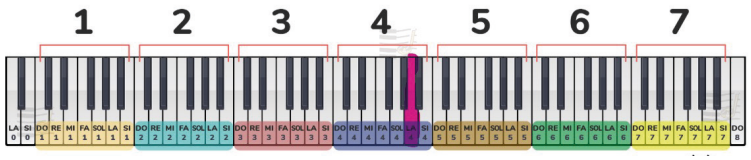


Figura 8: Teclado de un piano (fuente: Martín, María (2025) Inpartytura. Las teclas del piano.)

Sin embargo, si tocas La en la octava 5, su frecuencia será 880 Hz, exactamente el doble. Esto es porque para generar un sonido más agudo necesitará vibrar el doble de veces.

El timbre es *"el sello propio que posee cada sonido, bien sea por su pertenencia a un tipo de instrumentos o a un instrumento concreto, o bien incluso por la acción intencionada del instrumentista" (Luis Colomer, (s.f.))*. Identificamos dos notas como iguales gracias al tono, pero el timbre es el encargado de dotar a estas notas de una mayor profundidad e interés para nuestro oído.

El timbre de forma física es el patrón de onda, dependiendo su complejidad del método de creación de estos sonidos.

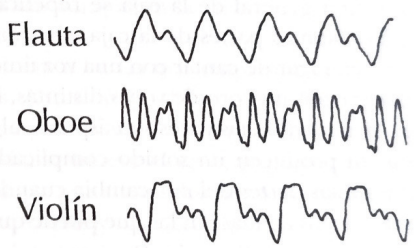


Figura 9: Ondas con misma frecuencia y distinto timbre (fuente: J.Powell (2012), Así es la música pág.48)

El timbre es el encargado de distinguir lo que es un piano de lo que es un clarinete, centrándose en el número de armónicos que generan, su resonancia y el método de producción del sonido. Un armónico es la combinación de sonidos múltiples de la frecuencia final, producidos a través de la resonancia del instrumento.

Una flauta dulce es un instrumento de viento madera con una producción del sonido simple. Soplando aire por la boquilla hace vibrar el aire dentro del cuerpo. Se produce una sola nota de forma bastante pura, sin armónicos.

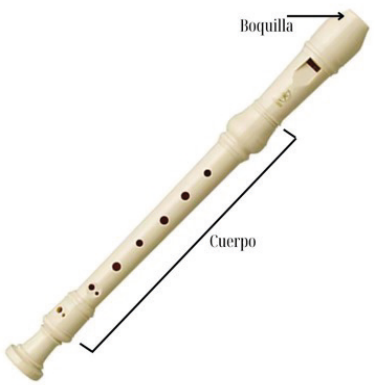


Figura 10: Flauta dulce (fuente: propia)

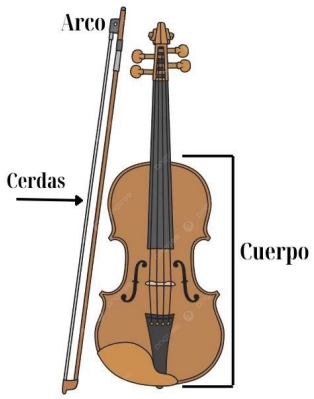


Figura 11: Violín (fuente: propia)

Mientras tanto el violín es un instrumento de cuerda frotada (usa un arco), con producción de sonido complejo. Rasgando con las cerdas (crines de caballo) una cuerda, la hacemos vibrar. Esa vibración se traspasa al cuerpo del violín, donde cada una de sus partes resonará de una manera.

La percusión, por otro lado, es una familia de instrumentos que tiene varias producciones de sonido, y por tanto timbres distintos. Distinguimos entre dos categorías de instrumentos de percusión: membranófonos (timbales, tambores, pandereta…) que producen el sonido al golpear una tela o membrana muy tensa por la cual la onda vibra, y los idiófonos (triángulo, maracas, campanillas…) que generan el sonido a través de la vibración del propio instrumento. Lo que caracteriza a esta sección es el ataque de las notas y luego su resonancia, en contraposición a instrumentos de viento o cuerda que mantienen la producción de vibraciones un tiempo largo.

Yendo más allá, los instrumentos se organizan en familias (cuerda, viento, percusión) según la producción de sonido, sus características físicas y su estructura. Todos los violines son reconocibles como violines porque producen el sonido de la misma manera, tienen las mismas proporciones por lo que resuenan igual y generan unos armónicos concretos. Todos los instrumentos de viento tienen una producción de sonido parecida y por ello nuestro oído los capta como semejantes, siendo sus patrones de onda análogos también.

La duración es la cantidad de tiempo que una nota suena o está en silencio. Tanto los sonidos como los silencios son medidos y son una parte clave para la interpretación musical, puesto que de esta cualidad derivan los ritmos y los tempos.

El volumen se refiere a *"la intensidad del sonido" (Patricia Aloy, 2023)*.

Dependiendo del número de instrumentos hay más o menos volumen, pero no es directamente proporcional. Esto ocurre porque la combinación de las ondas no es ideal. Se mide con la unidad decibelio (dB) y es una escala progresiva, siendo 0 dB el silencio y por ejemplo 120 dB un dolor muy fuerte para nuestros oídos, como un concierto de rock *a todo volumen*. Actualmente se puede alterar de forma tecnológica con la edición digital.

8.2 Canciones y composición

Tras definir las características del sonido y las notas, tanto físicamente como teóricamente, pasamos al conjunto de las canciones y las composiciones.

Una canción se define como *"composición que se canta o hecha a propósito para que se le pueda poner música". (RAE, s.f., definición 1)*. La música está dividida en dos partes, la armonía y la melodía.

La armonía es *"el aspecto vertical de la música" (M. Nebreda López, 2022)*, que usa acordes, escalas y notas simultáneas. Es el contexto de la música y su ambientación.

La melodía es *"el aspecto lineal de la música" (M. Nebreda López, 2022)*, que usa ritmos, tonos y silencios. Es aquella parte o voz que se suele tararear cuando recuerdas una canción. Es imprescindible para las piezas musicales.

El estribillo es parte de la melodía y es un tema que se repite a lo largo de toda la obra, ya sea transformado o igual. Es aquella parte de la canción que resalta más y, por ende, es más sencilla de memorizar. En obras más largas suele haber varios temas que se van entremezclando, pero en las canciones populares, que son más cortas, suele haber un solo tema o estribillo.

8.2.1 Escala, acorde y tonalidad

Las escalas, los acordes y las tonalidades son la base de la armonía.

Una escala es "una serie secuencial de notas dispuestas como escalones (...)". (J. Powell, 2012, pág. 119). Abarcan octavas, empieza con la nota fundamental y termina con el doble de frecuencia de la nota. Sirven para acotar las notas más usadas, siendo esencial para la improvisación

Hay muchos tipos de escalas distintas; la primera fue la escala pentatónica, consistente en cinco sonidos con relación matemática sencilla entre ellos por la ausencia de semitonos. La forma más sencilla de conseguir esta escala es tocar solo cinco notas negras de un piano, por ejemplo Do#, Re#, Fa#, Sol# y La#.

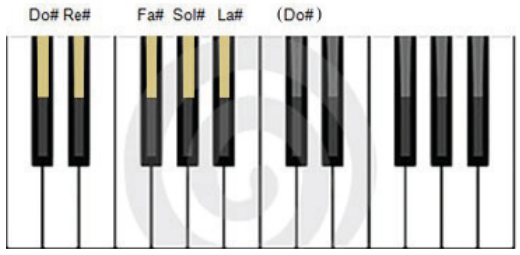


Figura 12: Escala pentatónica (fuente: Fundación Juan March (2010), Músicas no escritas: El poder de la improvisación)

Las actualmente usadas en occidente son las escalas mayores y menores.

La escala mayor (o modo jónico) es una variante de la pentatónica a la que se le añaden dos notas. Para crearla escogemos una nota fundamental o tónica desde la que creamos el resto de la escala mediante un patrón TTSTTTS.

T significa tono, por lo que saltamos una nota hasta la siguiente y S equivale a semitono, que es un salto a la nota más próxima.

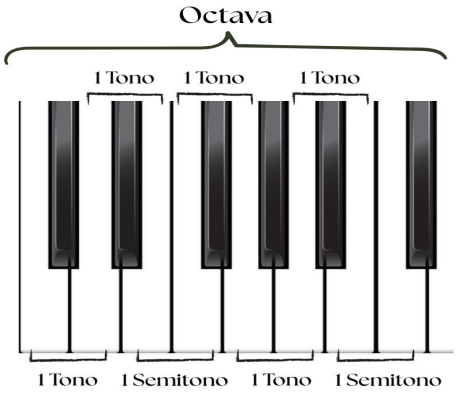


Figura 13: Formación escala mayor (fuente: elaboración propia)

La escala menor (o modo eólico) es otra variante de la pentatónica. Su estructura es TSTTSTT y también cuenta con relaciones simples matemáticas. La diferencia más importante entre la escala menor y mayor es que el tercer grado (la tercera nota de la escala), varía un semitono entre ambas versiones.

Un acorde son tres o más notas tocadas al unísono. Suelen ser notas con intervalos (distancia) de tercera entre sí y se cogen grados alternos, por ejemplo tónica Do, tercero Mi y quinto Sol.

Para que varias notas suenen bien juntas *"la relación de sus frecuencias tiene que ser sencilla : la frecuencia de una de las notas es el doble que la otra"(J. Powell, 2012, pág.107).*

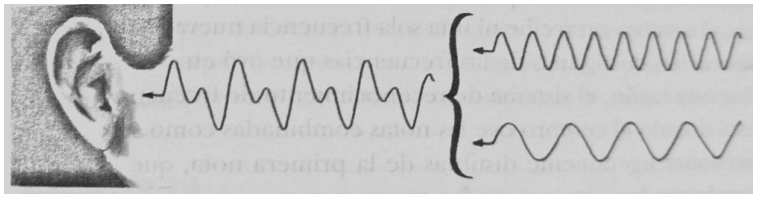


Figura 14: Formación de acordes (fuente: J.Powell (2012), Así es la música pág.107)

Hay muchos tipos de acordes dependiendo de las distancias entre las notas y cada uno crea unas sensaciones distintas.

Por ejemplo, si se tocan varias notas contiguas en el piano, suenan disonantes o desagradables. Se debe a que sus frecuencias no tienen una relación sencilla.

Así mismo, si se usa la escala mayor se crean acordes mayores, que tienen dos tonos de distancia entre la nota fundamental y la tercera, y solo un tono y un semitono de distancia entre la tercera y la quinta.

Si se usan las escalas menores se crean acordes menores, que genera tono y semitono de la fundamental a la tercera, y dos tonos de la tercera a la quinta.

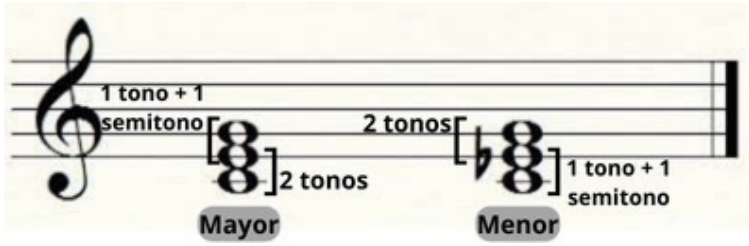


Figura 15: Acordes mayores y menores. (fuente: propia)

Estos tipos de acordes suenan agradables al oído por su relación sencilla de frecuencias; desde la frecuencia de la fundamental, se crean otras relacionadas.

Los acordes mayores *"son la frecuencia que hemos escogido más 1 1/4 veces esa frecuencia, más 1 1/2 veces la misma frecuencia." (J. Powell, 2012, pág.153)*. Cojamos por ejemplo el acorde mayor de Do. La frecuencia de Do4 es 261,63 Hz, si multiplicamos por 1,5 conseguimos 327 Hz, que se aproxima a los 329 Hz que es Mi, y si la multiplicamos por 1,5 conseguimos 392,5 Hz, siendo Sol 392 Hz.

Los acordes menores son desde la fundamental 1 $^{1}/_{5}$ veces esta frecuencia y 1 ½ veces la misma frecuencia. Volvamos a probar con un ejemplo similar: el acorde de Do menor. Si multiplicamos 261,63 por 1,2 conseguimos 313 Hz, siendo la frecuencia de Mi b 311 Hz.

Que las proporciones no sean perfectas se debe al temperamento usado. En occidente utilizamos el *temperamento igual*, cuyos intervalos, excepto la octava, son impuros y suenan ligeramente desafinados. Es un sistema de afinación creado en el siglo XVI que ganó muchísima popularidad y actualmente es al que nuestros oídos están acostumbrados.

La tonalidad es el desarrollo de la escala, son las mismas notas pero tocadas en otro orden, formando patrones… Sirve para definir las notas que se pueden usar a lo largo de una

canción tanto en la armonía como en la melodía y nombra a la tónica, desde la que se crean las escalas y acordes. La tonalidad se indica al comienzo de la partitura con la armadura, donde se ponen los sostenidos o bemoles que se deben utilizar. Existen 24 tonalidades, 12 mayores y 12 menores.

Hay tonalidades más simples y otras más complejas por su armadura. Esto condiciona que los compositores no suelan usar aquellas con muchos sostenidos o bemoles (más de 5). Todas están ordenadas en el círculo de quintas, que indica las tonalidades cercanas o vecinas.

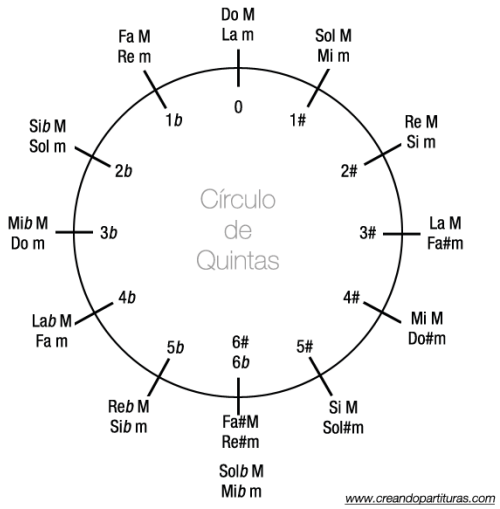


Figura 16: Círculo de quintas (fuente: Creando partituras: Círculo de quintas, 2016)

Por otro lado, en las obras no siempre se mantiene la misma tonalidad sino que muchas veces cambia para sostener la atención del espectador. Esto se denomina modular. Lo teóricamente más sencillo es pasar a la tonalidad relativa mayor o menor, la que tiene las mismas alteraciones que la que estamos usando, o a una vecina, las contiguas en el círculo de quintas. Pero hay otras técnicas.

Por ejemplo, Layla de Eric Clapton modula de Re menor a Do# menor justo al comenzar la parte vocal. No modula a una tonalidad vecina ni relativa, sino que modula a una tonalidad a distancia de semitono, técnica muy usada en la música pop actual.

Para que se considere que ha ocurrido una modulación, la nueva tonalidad tiene que mantenerse durante un tiempo lo suficientemente largo como para que sea importante. Puesto que no hay unas reglas objetivas, muchos compositores y analistas debaten si este fenómeno ocurre en determinadas obras.

8.2.2 Ritmo y medida

El ritmo y la medida son los encargados en una obra de indicar la duración, énfasis y patrones de los sonidos. *"El ritmo es la relación que, en cuanto a su valor, guardan entre sí las notas que se ejecutan sucesivamente." (Joaquín de Zamacois, 1983)*

Esta relación tiene tres nombres: tempo, métrica y patrones rítmicos.

El tempo es el latido del corazón, el ritmo cardíaco de una pieza. Se mide en beats per minute (Bpm) y es el número de pulsos o golpes que marcan el seguimiento de una obra. En las partituras, se indica al principio para una correcta interpretación de la pieza. De 20 a 80 bpm son tempos lentos, de 80 a 100 bpm son tempos andantes y de 100 a 200 bpm son tempos rápidos.

La métrica es la agrupación de estos golpecitos en grupos regulares. Hay golpes fuertes y débiles, siendo normalmente los primeros en los pulsos impares y los segundos en los pares. Pueden ser binarios - agrupados de dos en dos - ternarios - agrupados de tres en tres - o cuaternarios - agrupados de cuatro en cuatro -. La métrica se encarga de la división de los compases y se transcribe por una fracción. El numerador indica el número de pulsos y el denominador la figura rítmica principal (negra, blanca, redonda, corchea).

El más usado es el cuaternario 4/4 (cuatro pulsos de negra), pero también existen el 6/8 (seis pulsos de corchea agrupados de tres en tres), el 3/4 (tres pulsos de negra) o algunos más complejos como el 5/4 (cinco pulsos de negra agrupados en dos pulsos binarios y tres ternarios).

Los patrones rítmicos son las agrupaciones de notas largas y cortas que, como tema, se ven a lo largo de toda la obra. Pueden encontrarse tanto en la melodía como en las armonías.

Existen dos tipos de patrones, aquellos que van a tempo o los que generan síncopas. *Ir a tempo* significa que los ritmos empiezan al comienzo del compás, siguiendo las indicaciones de métrica. Como ejemplo claro tenemos We will rock you de Queen, donde las palmadas empiezan al principio de la obra.

Las síncopas son un recurso que da importancia a pulsos que normalmente no la tendrían. Aparece cuando se retrasa la entrada del ritmo al pulso indicado por la métrica. No tiene que ser todo el compás, puede ocurrir en algún pulso aislado. Podemos escucharlo en canciones como Shape of you de Ed Sheeran o Bailando de Enrique Iglesias.

8.2.3 Emociones y escalas

Todo lo definido hasta el momento son herramientas que tienen los compositores a su alcance para crear canciones, pero sus decisiones se basan en las emociones que quieren transmitir.

8.2.3.1 Teoría de los afectos

La teoría más importante formulada relacionando música y psicología es la teoría de los afectos. Creada en el barroco, un periodo musical de 1600 a 1750, fue usada por muchos compositores como Bach o Vivaldi. Sostenían que *"las emociones o 'afectos' pueden ser inducidos a través de ciertas formas musicales." (Requena Rodríguez A., 2023).* La sensación musical podía variar enteramente dependiendo de unos factores: la tonalidad, el modo, los ritmos y el tempo.

En primer lugar, la tonalidad. La anterior teoría marca unas características emocionales muy concretas, por ejemplo: *"Si ♭ menor: Se trata de una tonalidad muy divertida y suntuosa; tiene también un tinte de modestia pero al mismo tiempo puede pasar por majestuosa y delicada." (Ramón Andrés, 2012)*. Cada compositor formuló sus ideas sobre cada tonalidad y no siempre coincidían.

Por otro lado, el modo. Si la tonalidad era mayor o menor, condicionaba las emociones que transmitía. Las tonalidades mayores son consideradas alegres y más enérgicas que las menores, que suelen pensarse tristes y calmadas.

Los ritmos son importantes para la teoría de los afectos. Afirma que ritmos lentos dan sensación de estabilidad, mientras que ritmos rápidos generan intranquilidad y nerviosismo. El cambio de métrica o patrón rítmico, sostenían, creaba un nuevo interés para el oyente o podía ser el punto culmen de una canción.

Finalmente, el tempo. Si una obra se interpreta a una velocidad baja (con una indicación de lento o adagio) produce una sensación diferente a interpretarla con una velocidad alta (en presto o allegro). Así mismo, a lo largo de la obra suelen variarse los tempos para crear tensión o calma.

8.2.4 Instrumentación y sintetizadores

Lo que genera la diferencia de sonido entre un piano y una flauta, como hemos visto anteriormente, es el timbre de los sonidos que emite.

Cualquier canción actual cuenta con muchos instrumentos interpretando distintas partes de la melodía o la armonía.

Los más usados en la música popular suelen ser la guitarra (más frecuentemente la eléctrica que la clásica), el piano, el bajo, la batería y los sintetizadores, así como la voz humana.

Los sintetizadores se empezaron a emplear ampliamente en 1960. Es una herramienta para crear sonidos artificiales, mezclando armónicos existentes y así generar nuevos timbres. Son instrumentos que, en vez de producir los sonidos por resonancia del cuerpo del instrumento o la vibración de cuerdas, los generan por impulsos eléctricos y ondas electrónicas. Se encargan de generar ondas sencillas y combinarlas entre ellas para producir ondas complejas. No solo generan timbres nuevos, sino que pueden copiar aquellos de instrumentos tradicionales. Esta es la muy utilizada técnica del sampleado, que prescinde de contratar a músicos en la parte instrumental de la canción, por el uso de sintetizadores para simular el sonido de los instrumentos deseados.

9. HIPÓTESIS

- Hay un patrón en las canciones de verano a lo largo de todos los años que las hace **reconocibles y altamente adictivas.**

Todas las canciones seleccionadas:

- Hay una preferencia por las tonalidades mayores con relaciones 1 1/2 y 1 1/4 entre sus frecuencias
- Se prefieren las tonalidades con frecuencias más altas, esto es, más agudas.
- Son fiesteras porque tienen tempos rápidos
- En instrumentación se prefieren los timbres más simples a los patrones de onda más complejos
- Sus letras son inanes y superficiales

Canciones actuales en contraposición a las antiguas:

- Los jóvenes de hoy en día cada vez tienen menos paciencia por lo que las canciones serán más cortas
- Todas las canciones actuales usarán el estribillo como recurso, mientras que las antiguas podrían omitirlo
- Hay una mayor complejidad de composición en la música antigua que en la actual, tanto en melodía como en ritmos o instrumentos

10. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS

Primeramente, empezamos a investigar sobre potenciales listas musicales en España, que fueran fiables. Probamos con las listas de *Los 40*, filtrando las canciones en posición número 1 durante los meses de verano con al menos 2 semanas de presencia. Se identificó una tendencia a partir de 1990, los temas de más éxito cambiaban prácticamente todas las semanas. Adicionalmente, encontramos listas publicadas por *Los 40*, que recopilan cada año desde 2020 hasta 2023 las canciones de verano. Encontramos referencias de diversos medios de comunicación pero no nos parecieron lo suficientemente fiables dado que se dedican a una diversidad enorme de temáticas. Eso nos obligó a buscar registros ya confeccionados que tuvieran en cuenta las canciones solo en época estival. Otro hallazgo significativo se descubrió a través de la *Revista Discomanía*, que recopila desde 1960 hasta 2019 de los meses de verano, resultando finalmente otra fuente sólida.

Por último, se elaboró una lista definitiva con los resultados más repetidos de las múltiples fuentes. Para tener una muestra considerable, acotamos el estudio a dos canciones por año y a partir de 2020, tres. (Véase Anexo II)

Cuando ya teníamos clara la muestra que íbamos a analizar, empezamos a estudiar las diferentes características de la música en estas canciones, que se dividían en 6 grupos a observar: melodía, armonía, ritmo, instrumentación, duración y letra.

Comenzamos por la melodía, determinando la tonalidad de cada una de las obras con la aplicación *Tunebat*, un analizador de canciones de *Spotify*. Los resultados los apuntamos en una hoja de cálculo, en cifrado americano, indicando la nota fundamental y más importante de la tonalidad. Así mismo especificamos el modo de la tonalidad, "M" significa tonalidad mayor frente a "m" que se refiere a tonalidad menor. Esto nos servirá para ver los acordes y escalas usadas en cada obra y por ende sus alteraciones y relación de frecuencias.

Con esta misma herramienta estudiamos también el ritmo, concretando el tempo para ver el rango más usado en esta música, medido en *beats per minute*. También indicaremos la métrica. Como no hay aplicaciones que analicen esta propiedad hemos determinado mediante un estudio personal su subdivisión en pulsos fuertes y débiles, para concretar si era binario, ternario o cuaternario, así como el número de pulsaciones.



Por otro lado, para precisar la duración de cada canción, usamos *Spotify*. Hemos escogido el archivo que fue publicado por el artista en la fecha del análisis, cerciorándonos que sí fuera la versión que se hizo popular en su época. Para este último punto hemos creado una lista de *Spotify* con todas las canciones analizadas.

Continuando con la armonía, hemos analizado los acordes más recurrentes en los estribillos de las canciones. Para ello, hemos usado el programa *Moises*.

Figura 17: *Moises* (fuente: elaboración propia)

Además, hemos analizado las letras de esta música. Nuestra idea preconcebida es que siguen una temática basada en tres categorías: la fiesta, el verano y el amor. Identificamos todas las palabras que estén relacionadas con estas temáticas y ver si hay un patrón entre ellas, así como cuán frecuentes son realmente estas ideas. Por otro lado, también hemos dado importancia a las especificaciones de tiempo, por ejemplo indicar el momento del día.

Finalmente, en cuanto a los instrumentos de cada canción, no hay aplicaciones que sean capaces de identificarlos, por lo que, personalmente hemos apuntado los instrumentos que se escuchan, gracias a tener un conocimiento y costumbre adquirida sobre los timbres. Dado que hay un gran número de instrumentos diferentes, los hemos clasificado según sus características musicales y de producción de sonido entre instrumentos de cuerda, viento, percusión o sintetizadores, y diferenciando entre guitarra eléctrica y clásica por su gran distintivo. No solo vamos a analizar qué instrumentos son más populares, sino también sus patrones de onda para ver si hay una correlación entre su uso y su métrica aplicada al campo de la física.

Hemos hecho uso del programa *Audacity*. Representa esos sonidos como ondas de audio, siendo expresado el tiempo

en el eje ‘x’ y la amplitud de vibración en el eje ‘y’. Todas las ondas que analicemos van a tener la misma frecuencia (440 Hz, La4), para efectuar una comparativa clara.

Con el sonido La4 de un diapasón, que es un objeto metálico usado como referencia para afinar a 440 Hz (La4), procedimos con una prueba de concepto.

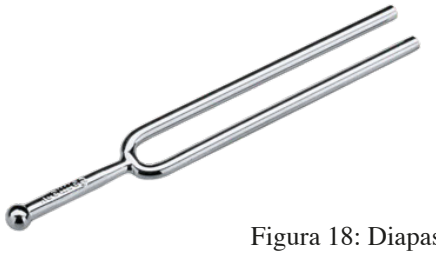


Figura 18: Diapasón (fuente: Hendrix (s.f.))

La onda que hemos conseguido es la siguiente, muy clara, regular y simple, porque no cuenta con muchos armónicos y es un sonido muy puro.

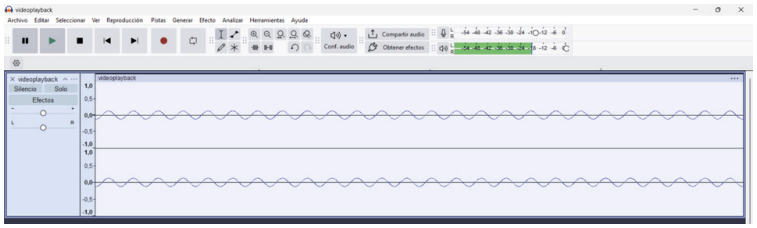


Figura 19: Onda de un diapasón La4 (fuente: elaboración propia)

Todos los datos de las seis secciones diferentes de análisis están especificadas en esta hoja de cálculo de *Google*, ordenadas por año. (Véase Anexo III)

Los resultados nos indican que, con respecto a la melodía, la presencia de tonalidades mayores es muy superior a las menores, viéndose claramente en el siguiente gráfico.

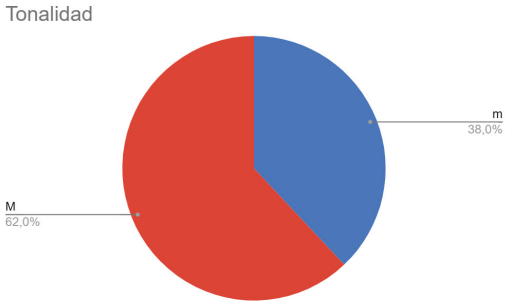


Figura 20: Tonalidades mayores y menores (fuente: elaboración propia)

De forma musical esto quiere decir que se prefiere el esquema TTSTTTS y el tercer grado elevado o mayorizado.

Desde un punto de vista físico, se repiten más la relación de frecuencias de 1 ¼ y 1 ½, frente a 1 1/5.

En cuanto a las notas de las tonalidades no vemos un patrón claro, dado que están presentes 12 de las 24 tonalidades, con porcentajes muy bajos. Los resultados son muy dispersos.

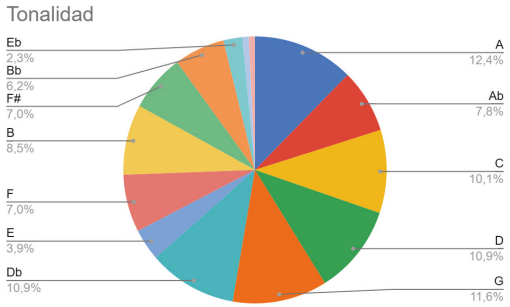


Figura 21: Tonalidades (fuente: elaboración propia)

Pasamos al ritmo. Los tempos los hemos agrupado por década para verlos más claros y descubrimos que la variación es ínfima a lo largo de los decenios.

Los resultados son los siguientes:

1960-1969 Media: 125,40 bpm
1970-1979 Media: 120,35 bpm
1980-1989 Media: 127,35 bpm
1990-1999 Media: 127,70 bpm
2000-2009 Media: 118,30 bpm
2010-2019 Media: 126,60 bpm
2020-2023 Media: 108,78 bpm

Podemos apreciar que siempre están alrededor de los 120 bpm, que sería allegro moderato (rápido pero moderado), lo que concuerda con nuestras suposiciones de un ritmo ágil para estas obras.

En cuanto a la métrica, hay una preferencia muy evidente por el 4/4, la más usada en composición moderna de cualquier género musical.

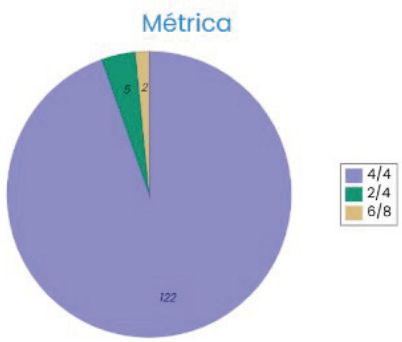


Figura 22: Métrica (fuente: elaboración propia)

Las dos obras en 6/8, ritmos de danza ternarios, son de 1960 y 1970 respectivamente y desde entonces no hay ninguna más, frente a las 5 obras en 2/4 que encontramos a partir de 2000.

Uno de los prejuicios apostaba por la disminución de duración de las canciones con el paso del tiempo, pero era equivocado. Los resultados los hemos agrupado por décadas para verlos más claros.

1960-1969 Media: 2 min 45 s
1970-1979 Media: 3 min 09 s
1980-1989 Media: 4 min 44 s
1990-1999 Media: 4 min 07 s
2000-2009 Media: 3 min 30 s
2010-2019 Media: 3 min 63 s
2020-2023 Media: 3 min 11 s

Podemos apreciar que la duración media más baja es la de la década de los 60 seguida de los 70, que contrasta con nuestra idea generalizada de que la música cada vez dura menos por situarnos en una sociedad más líquida.

Pasando a la armonía, lo primero que podemos detectar es que el 100% de las canciones usan el primer grado y el quinto.

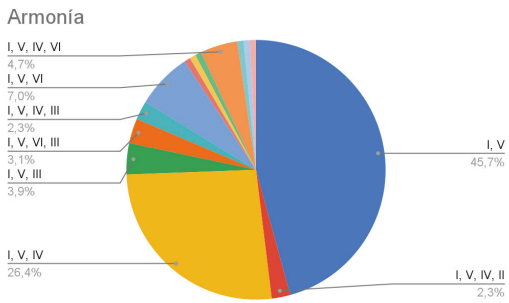


Figura 23: Armonía (fuente: elaboración propia)

Casi la mitad de las canciones basan sus estribillos en tan solo esos dos acordes.

Un cuarto de las canciones, por otra parte, añaden el IV a esos grados creando la secuencia más usada en música (I-IV-V-I), una progresión de acordes base de otras más complejas.

Ya en el otro 25% de las canciones, se añade el II, III o VI grado, para dar movimiento a las series, pero siempre basándose en el I-V.

A continuación, las letras. Hemos analizado canción a canción y apuntado todas las apariciones de aquellas palabras bajo las temáticas propuestas. Luego hemos organizado los términos que veíamos más recurrentes.

Amor (amar, corazón, amante, querer, corazón, beso…)
Fiesta (bailar, alcohol, cantar, discoteca, canción, ritmo…)
Verano (sol, playa, arena, bikini…)
Viajes (avión, viajar, volar, Madrid, París…)

Los resultados del recuento han sido los siguientes, teniendo en cuenta que 4 canciones no seguían ninguna de las temáticas propuestas y sin embargo muchas cumplían más de una temática.

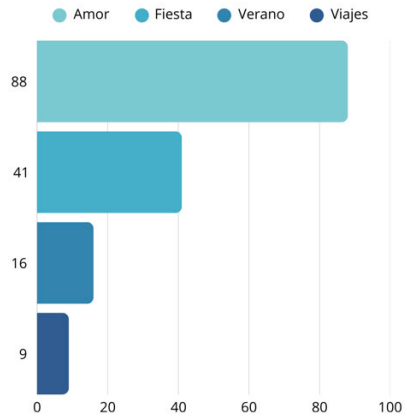


Figura 24: Gráficotemáticas líricas (fuente: elaboración propia)

A lo largo del estudio hemos podido ver claramente una evolución de las letras durante las décadas, empezando en 1960 con una prosa cuidada pero muy pesimista (contando historias de mujeres casándose pero no con su amado, por ejemplo). Hay un uso muy claro de la emotividad con referencias al alma, gran hincapié en los ojos y en la idea de casa u hogar.

Ya sobre 1975 las letras se vuelven más provocativas y directas, con referencias al cuerpo de las mujeres, el deseo sexual y la fiesta.

De forma muy progresiva empieza a tener más presencia la fiesta, las menciones a la *discoteca* y los *DJ*, a la par que se desarrolla la música más electrónica.

Desde el 2016, las letras se vuelven muy explícitas, tratando esencialmente de sexo, alcohol y drogas. Gana importancia en este mismo momento el reggaeton como género latinoamericano. Esta corriente continúa hasta la actualidad.

Hemos determinado las palabras más usadas de cada temática, agrupandolas en la siguiente tabla.

83	amor	amar	corazón	querer	enamorar	beso	besar	besos	labios	
37	arena	playa	sol	mar	olas	maleta	volar	equipaje	viaje	verano
75	música	cantar	ritmo	canción	bailar	fiesta	discoteca			
14	baby	chiquilla	amiga	mujer	mami					
42	culo	cuerpo	trasero	piernas	pechos	cama	sexo	deseo	sexy	cintura
18	borracho	whisky	alcohol	copas	beber	drogas				

Figura 25: Tabla palabras más frecuentes (fuente: elaboración propia)

Podemos identificar que las referencias al amor son constantes, especialmente las palabras de la familia léxica de *amar* o *beso*. Las alusiones a la playa o los viajes son también muy recurrentes, así como el campo semántico de la música.

También hay muchas menciones a las mujeres, a través de diversos motes, puesto que el narrador de la canción suele ser un hombre cantando a una mujer (o a varias). De esta manera encontramos repetidamente descripciones del cuerpo femenino, normalmente ligadas al sexo. Además hay considerables menciones al alcohol y las drogas, sobre todo desde 2010.

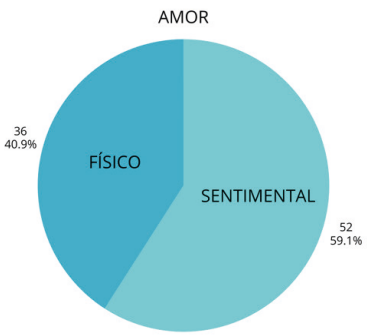


Figura 26: Temática amor (fuente: elaboración propia)

Por otro lado, dentro de la categoría más recurrente (amor) hemos querido distinguir el amor sentimental frente al sexual.

Se encuentra la primera referencia al amor físico en 1972, y el presente recurre habitualmente al sexo. El gran porcentaje del amor sexual se identifica entre 1990 y el presente.

En cuanto a las referencias temporales, es muy común encontrar *noche*, *luna* o *sol*. Sin embargo, las menciones a *día* o *mañana*, son mucho menos recurrentes, excepto cuando van acompañadas de *sol*.

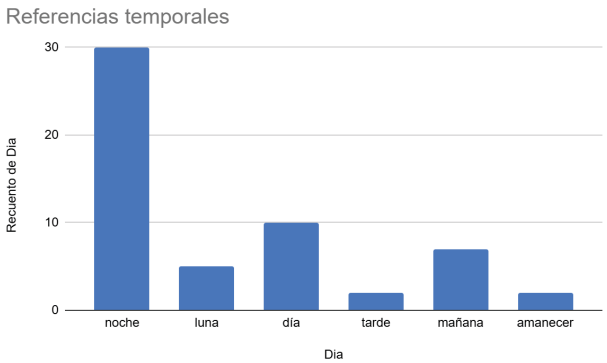


Figura 27: Referencias temporales (fuente: elaboración propia)

Finalmente analizamos la instrumentación. Después de identificar los instrumentos usados en cada canción llegamos a la siguiente estadística.

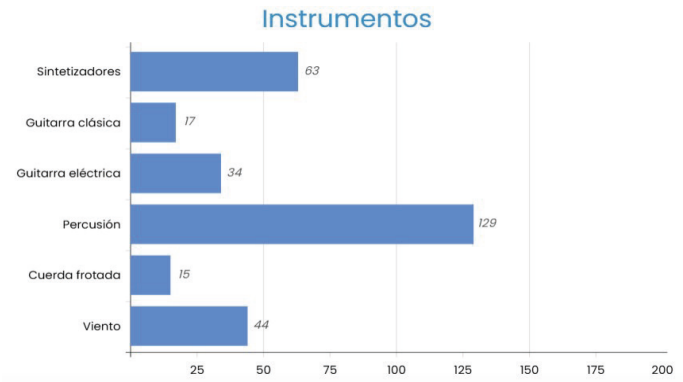


Figura 28: Estadísticas de instrumentos (fuente: elaboración propia)

Descubrimos que todas las canciones usan percusión, ya sea con batería, pandereta o maracas. Entonces deducimos que tener un pulso estable es importante para que las canciones sean populares.

Las otras categorías de instrumentos son los sintetizadores (de los que no podremos analizar onda dado que cada uno crea sus propios sonidos complejos a placer), la guitarra clásica o acústica, la guitarra eléctrica, la cuerda frotada (especialmente violines) y el viento (con mucha presencia de flautas y de trompetas).

Comenzamos a analizar sus ondas. Hemos aislado los sonidos de La4 en los respectivos instrumentos (en aquellos que tienen tono) ya sea desde videos de intérpretes o grabando artesanalmente con los instrumentos que contamos en casa. Todas las grabaciones usadas se pueden consultar en el Anexo IV.

Y los resultados en *Audacity* son los siguientes:

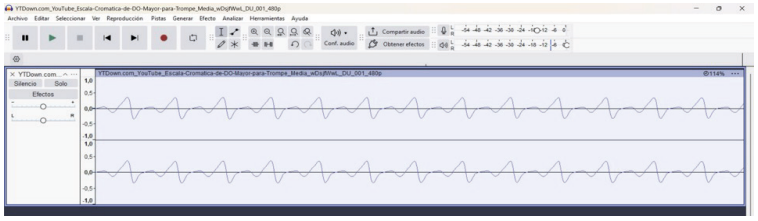


Figura 29: Onda de trompeta La4 (fuente: elaboración propia)

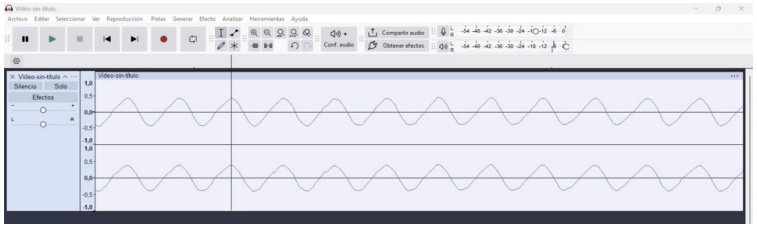


Figura 30: Onda de flauta La4 (fuente: elaboración propia)



Figura 31: Onda violín (fuente: elaboración propia)

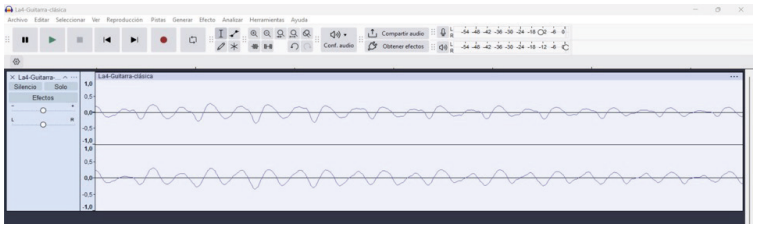


Figura 32: Onda guitarra clásica (fuente: elaboración propia)

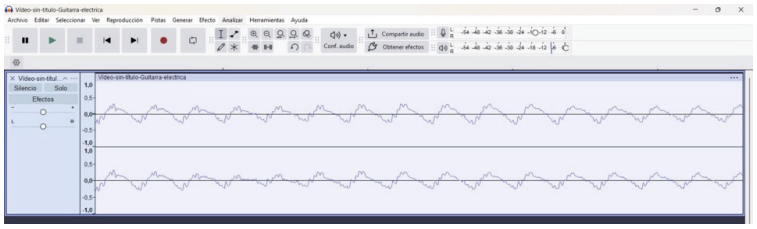


Figura 33: Onda de guitarra eléctrica La4 (fuente: elaboración propia)

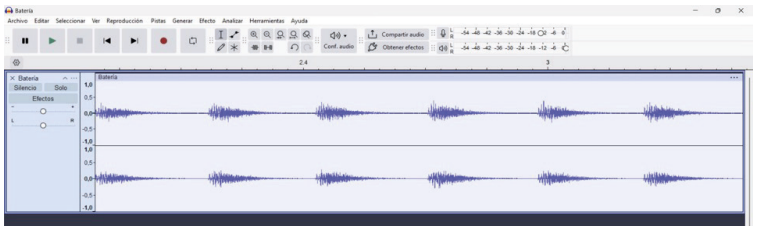


Figura 34: Onda tambor de batería (fuente: elaboración propia)

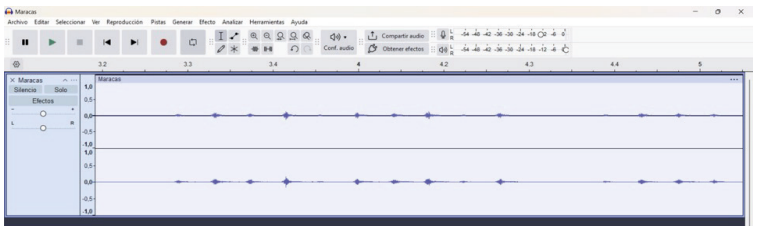


Figura 35: Onda maracas (fuente: elaboración propia)

Empezando con los instrumentos de viento, tienen una mayor amplitud de onda, pero tiene la misma frecuencia que el La4 del diapasón. Al tener mayor amplitud sabemos que el instrumento transporta más energía, su sonido suena más fuerte y potente. Al ser instrumentos con producción de sonido simple, podemos ver su onda con mucha claridad y sin que los armónicos entorpezcan su visión al ser un sonido muy puro. También identificamos que no tiene muchas crestas las ondas, así como continuidad y no picos abruptos.

En la onda del violín y los instrumentos de cuerda frotada, sin embargo, vemos muchas más subidas y bajadas de la onda, creadas por su producción de sonido a través de la resonancia de cajas de madera. Como en las ondas de viento, hay continuidad de la onda y una amplitud considerable.

Pasando a las guitarras, ambas no comparten ningún patrón y tienen una divergencia clara. La onda de la guitarra clásica es clara y regular, con dos picos no abruptos, bastante parecida al patrón del violín. Sin embargo, la guitarra eléctrica cuenta con muchos armónicos por la variedad de picos bruscos. Así demostramos que es una onda compleja, aunque con un patrón simple de vibraciones, puesto que solo cuenta con un máximo en su muestra.

Finalmente, la percusión es claramente reconocible porque no es una onda armónica o regular, por lo que no se genera una onda clara. Lo que sí podemos identificar son el ataque de la nota, que es como se produce y que la amplitud o es muy grande, así como su diferencia entre el ataque y la reverberación del sonido.

11. CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación parecen demostrar que la música de verano sí puede ser considerada un género por sí mismo, dado que usa patrones desde hace muchos años para conseguir que sus canciones sean pegadizas. Aquel que quiera componer la próxima canción del verano deberá tener en cuenta las siguientes características, puesto que son la preferencia de los oyentes como consumidores.

Melodía

Uso de tonalidades mayores, por lo que se prefiere el tercer grado elevado. Científicamente, es muy común aplicar relaciones de frecuencias pares de 1¼, en vez de 1¼. Puede estar relacionado con la percepción del ¼ como fracción más simple, ya que aparece en mediciones de tiempo (los cuartos de hora), de peso (cuarto de kilo) o ángulos (90º). Según la teoría de los afectos, estas tonalidades son más enérgicas y alegres, lo que concuerda con la idea de dicha y fiesta, típicas de esta época del año. Sin embargo, no hay una planificación consciente tonal detrás de la composición de estas obras. La tonalidad principal de las canciones no depende de recursos sonoros, sino que será escogida según el registro vocal de los cantantes.

Armonía

Encontramos que los acordes de fundamental (I) y dominante (V) son la base de la armonía de esta música. Son considerados los más básicos, lo que demuestra la selección por la sencillez. Otro grado bastante usado es el IV, que se usa como pequeño puente para dar movimiento a la armonía. La combinación de I-V-IV es una de las consideradas más simples.

Ritmo

El tempo de un *hit veraniego* debería estar entre los 115 bpm y los 130 bpm. En una partitura, quedaría englobado dentro de *allegro moderato* o *allegretto*, un ritmo ágil para apoyar el movimiento de la obra. Nos sorprende el descenso significativo del ritmo en el presente, caracterizando la música actual como mucho más pausada que a mediados del siglo pasado, un *desconcierto* no previsto al comienzo del proyecto.

El 4/4 es preferente a cualquier otra métrica. Se considera un ritmo más repetitivo e insistente, por lo que la simplicidad que vaticinamos sí se cumple a lo largo de todas las décadas.

Duración

La extensión de las canciones se sitúa entre 3,5 min - 4,5 min. Podemos apreciar que, refutando una de nuestras hipótesis, la música dura más actualmente que en el principio de la muestra, corroborando que la capacidad de atención no ha disminuido. Nos ha parecido sorprendente la tendencia de este parámetro a lo largo de los decenios: en los 60 y 70, las canciones eran extraordinariamente cortas *("esta juventud que no presta atención a nada")*, en los 80 y 90 cambia abruptamente (aumenta casi al doble) y en adelante, con la llegada de los 2000, se tiende a reducir paulatinamente la duración. Puede estar relacionado con la llegada de las tecnologías a nuestras vidas, aunque no se demuestra un cambio drástico en términos de concentración.

Letra

Todas las canciones cuentan con estribillo, que se repite varias veces a lo largo de la obra, así como una textura de voz acompañada por instrumentos y coro.

Las temáticas más recurrentes son el amor y la fiesta, seguidos de las referencias al verano, el buen tiempo y la playa, así como viajar. También hace gran hincapié en la vida nocturna y la noche.

Tiene mucho sentido, sumándose a los tempos rápidos y las tonalidades mayores, puesto que intenta transmitir alegría y vivacidad. Así mismo, sigue los estereotipos que tenemos arraigados sobre esta época del año, así como la intención de acercarse a los jóvenes, quienes serán los principales consumidores de esta música.

Encontramos especialmente la familia léxica de *querer* y *amar*, junto con *cuerpo* y *mujer*, lo cual concuerda con las temáticas seleccionadas.

La evolución de las letras nos permite abordar nuestro estudio bajo un contexto socioeconómico y político en España. Al comienzo de la muestra, hay un carácter mucho más pesimista, así como ideas tradicionales del hogar o el alma. No hay referencias a la fiesta ni a las relaciones sexuales, seguramente por el régimen dictatorial que controlaba el país, así como las ideas católicas y conservadoras por las que se regía.

A partir de 1973, las letras se vuelven más abiertas, incluyendo las temáticas del verano y la fiesta, lo que demuestra una cierta apertura. Esto se puede deber al cambio de régimen en España por la muerte de Francisco Franco un par de años después, que vino precedida por una crisis de go-

bierno, y la posterior restauración de la democracia. Constituye un aperturismo, tanto nacional como internacional, que también podemos identificar con la entrada de música de otros países y en otros idiomas, especialmente en inglés.

Ya desde 2015, encontramos el siguiente cambio notable de temáticas. Se introduce ampliamente el amor sexual, siendo normalmente el *leitmotiv* de la canción, así como el alcohol y las drogas. Coincide con la entrada de la música latinoamericana y la creciente popularidad del reggaeton.

Instrumentos

Finalmente, se escoge en todas las canciones la textura de voz acompañada por instrumentos y coros. El instrumento imprescindible es la percusión, que ayuda a marcar el tempo y hacerlo constante y machacón, puesto que no tiene tono.

Los instrumentos tonales más usados son las guitarras, la cuerda frotada, los vientos metal (especialmente trompeta y flauta) y los sintetizadores, que están presentes a lo largo de toda la muestra.

Las ondas generadas suelen tener una gran amplitud, por lo que transportan mucha energía en sus sonidos. No identificamos que haya una preferencia por la producción de sonido más simple, puesto que se usa frecuentemente la cuerda frotada y rasgada, que tienen muchos más armónicos. Sí hay una elección por los sonidos más constantes, sin picos abruptos en sus ondas.

11.1 Dificultades encontradas

A lo largo del estudio nos hemos enfrentado a diversas dificultades. Primeramente, no disponíamos de las aplicaciones necesarias para analizar patrones de onda más complejos, tales como los de los sintetizadores. Para ello, era necesario simplificar las ondas compuestas, con herramientas de acceso restringido y de pago, muy usadas en la universidad. Por otro lado, no teníamos suficiente tiempo para analizar una mayor muestra de instrumentos de cada familia, que nos hubiera permitido entender con más profundidad por qué estos sonidos son preferidos en verano. También he tenido que lidiar con la complejidad de la programación en Python, rama novedosa que me ha interesado sobremanera.

12. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Una vez finalizada esta investigación, se plantean diferentes líneas adicionales de experimentación.

- Abrir la muestra del análisis a:
  - Listas internacionales
  - Décadas previas a 1960
  - Otros patrones relacionados con momentos del año (canción de navidad)
  - Listas de calidad (críticos musicales) en lugar de popularidad
- Experimentar con las ondas de muchos más instrumentos (especialmente los tradicionales en determinadas partes del mundo) para contrastar diferencias
- Estudiar cómo los problemas sociales se ven reflejados en las letras de las canciones, por ejemplo machismo, desigualdad o nihilismo
- Analizar si cambios sociales o políticos afectan a la música que se consume
- Errores de temperación en los modelos musicales actuales y por qué siguen siendo utilizados

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aloy, Patricia (2023) Venezuela Sinfónica. Explora los componentes básicos de la música. Recuperado de: https://venezuelasinfonica.com/explora-los-componentes-basicos-de-la-musica-notas-ritmo-melodia-armonia-y-volumen/#:~:text=La%20duraci%C3%B3n%20se%20refiere%20a,distintiva%20de%20una%20nota%20musical [última fecha de consulta: 30/06/2025]
- A-Majdalawi Álvarez, A. (2005/2006), Acústica musical: Fundamentos físicos de los instrumentos musicales. Recuperado de: https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_05_06/io2/public_html/introduccion.html [fecha de consulta: 23/06/2025].
- Aquae Fundación (2016), El sonido y sus características. Recuperado de: https://www.fundacionaquae.org/sabes-que-es-el-sonido [fecha de consulta: 23/06/2025].
- Colomer, Luis (s.f.) Acústica musical. Recuperado de: https://cursodeacusticamusical.blogspot.com/ [última fecha de consulta: 30/06/2025].
- Creando partituras (2016). Círculo de quintas. Recuperado de: http://www.creandopartituras.com/circulo-de-quintas/ [última fecha de consulta: 09/07/2025]
- Entre 88 teclas (2013). Modulaciones sorprendentes en el pop. Recuperado de: https://www.entre88teclas.es/foro/viewtopic.php?t=8254 [fecha de consulta: 09/07/2025]

- Esero (s.f.) Longitud de onda y frecuencia. Recuperado de: https://esero.es/practicas-en-abierto/decodifica-imagenes-iss/longitud_de_onda_y_frecuencia.html [fecha de consulta: 23/06/2025].
- Fundación Juan March (2010). Músicas no escritas: El poder de la improvisación. Recuperado de: https://www2.march.es/musica/jovenes/musicas_no_escritas/ [última fecha de consulta: 08/08/2025]
- Hyperphysics (2005) Cálculo de onda. Recuperado de: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/wavrel.html [fecha de consulta: 25/06/2025].
- Macustica (2023) Psicoacústica: Cómo el sonido afecta a nuestro cerebro y a nuestras emociones. Recuperado de: https://macustica.com/psicoacustica-como-el-sonido-afecta-a-nuestro-cerebro-y-emociones/ [última fecha de consulta: 09/07/2025]
- Martín, María (2025) Inpartytura. Las teclas del piano. Recuperado de: https://www.inpartytura.com/las-teclas-del-piano/ [fecha de consulta: 26/06/2025].
- Michels, Ulrich (1993). Atlas de música, 1. Editorial Alianza Atlas. [última fecha de consulta: 09/07/2025]
- Nebreda López, M.(2022). Diferencia entre armonía y melodía: Todo lo que debes saber. Recuperado de: https://www.campustraining.es/noticias/armonia-melodia-diferencias/ [última fecha de consulta: 07/07/2025]
- Neuropsicología y cerebro (s.f.) Función de los lóbulos temporales. Recuperado de: https://www.neuropsicologiaycerebro.com/lobulo-temporal [fecha de consulta: 25/06/2025].
- Nolasco, J. S. (2018). Python: aplicaciones prácticas. Editorial Ra-Ma. [última consulta: 08/012/2025]
- Powell, J. (2012). Así es la música. España: Antoni Bosch Editor, S.A. [última consulta : 12/07/2025].
- Ramón Andrés. (2012) Diccionario de música, mitología, magia y religión. Editorial Acantilado. [última consulta: 15/07/2025]
- Requena Rodríguez A. (2023) Academia de Ciencias de la Región de Murcia: El poder de los afectos. Recuperado de: https://portales.um.es/web/acc/-/el-poder-de-los-afectos/1.0 [fecha de consulta: 10/07/2025]
- Reymonde, A.F. (2019) Mi ciudad Real. La música barroca y los afectos. Recuperado de: https://www.miciudadreal.es/2018/06/19/la-musica-barroca-y-los-afectos/ [fecha de consulta: 10/07/2025]
- Rubia-Vila F. J. (2018) Bases neurobiológicas de la música. ANALES RANM [Internet]. Real Academia Nacional de Medicina de España; Recuperado de: http://dx.doi.org/10.32440/ar.2018.135.02.supl01.art03 [fecha de consulta: 19/06/2025].
- Sena System (2021) Vía auditiva periférica. Recuperado de: https://neuropsintegral.com/que-es/ [fecha de consulta: 25/06/2025].
- Svantek (s.f.) Definición, características y uso de las ondas sonoras en acústica. Recuperado de: https://svantek.com/es/academia/onda-de-sonido/ [fecha de consulta: 25/06/2025].
- Teachy (s.f.) Resumen de ondas: Velocidad de la onda. Recuperado de: https://www.teachy.app/es/resumenes/educacion-media/media-superior-3-grado/fisica-a-espanol/ondas-velocidad-de-la-onda-or-resumen-tradicional-03632 [fecha de consulta: 26/06/2025].
- de Zamacois, Joaquin (1983). Teoría de la música Libro II. Editorial Labor. [última fecha de consulta: 16/08/2025]

14. ANEXOS

Anexo I

Ejemplo de ejecución del programa de Python con el audio de la canción Comunicando, Arturo Millán (1960).

Cargando modelo Whisper...

Transcribiendo audio...

=== TRANSCRIPCIÓN ===

Quise decirte vida mía, lo que por ti yo estoy pasando, pero no pude, pero no pude porque estabas comunicando, comunicando, comunicando, quise decirte que me muero, que por tu culpa, estoy penando, pero no pude, pero no pude porque estabas comunicando, comunicando, comunicando, comunicando, comunicando, con quien podías estar hablando, tu indiferente, y yo esperando, y que no estés al llamarte comunicando, comunicando, y he de decirte tantas cosas, pero mi vida como y cuando, si cuando llamo, si cuando llamo, estás siempre comunicando, comunicando, comunicando, comunicando, comunicando, con quien podías estar hablando, tu indiferente, y yo esperando, y que no estés al llamarte comunicando, comunicando, he de decirte tantas cosas, pero mi vida como y cuando, si cuando llamo, si cuando llamo, estás siempre comunicando, comunicando, comunicando, comunicando, comunicando, comunicando, comunicando,

==========

=== PALABRAS MÁS USADAS ===

comunicando: 24	*tu: 3*	*estés: 2*
y: 7	*quise: 2*	*al: 2*
pero: 6	*por: 2*	*llamarte: 2*
no: 6	*estoy: 2*	*he: 2*
cuando: 6	*porque: 2*	*de: 2*
que: 5	*estabas: 2*	*tantas: 2*
decirte: 4	*con: 2*	*cosas: 2*
pude: 4	*quien: 2*	*mi: 2*
me: 4	*podías: 2*	*como: 2*
si: 4	*estar: 2*	*estás: 2*
llamo: 4	*hablando: 2*	*siempre: 2*
vida: 3	*indiferente: 2*	
yo: 3	*esperando: 2*	

Anexo II

Lista de las canciones seleccionadas en *Spotify*.

Anexo III

Hoja de cálculo con todos los datos recopilados.
Melodía, armonía, ritmo, duración e instrumentos:

Anexo IV

Grabaciones y ondas de instrumentos.

“Rompiendo el mito del Otro”

Educación sexual, masculinidad y otredad: un estudio sobre la relación entre el conocimiento del cuerpo masculino y la construcción de la empatía hacia las mujeres.

Claudia Roa López

Tutora: Andrea Carolin Mosquera Varas

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría sido posible sin el acompañamiento, la orientación y la confianza de quienes me apoyaron durante todo el proceso. Es por esto que me gustaría agradecer a mi tutora y mentora del trabajo, Andrea Mosquera, quien me ha ayudado a lo largo de todo este proceso, desde las dudas y las páginas en blanco, hasta los momentos donde lo que faltaba era de todo menos falta de ideas. Extiendo un agradecimiento especial a los y las estudiantes que participaron en el estudio, no solo con sus respuestas sino que compartieron y apoyaron esta investigación, dando sentido a cada resultado.

Pero me gustaría hacer una mención especial a los miembros de mi familia, que no solo me acompañaron y ayudaron en este proceso, sino que me guiaron y disfrutaron de este trabajo, volviéndose parte de este. Junto a ellos se unen mis compañeros y amigos, que vieron este trabajo desde sus primeros inicios, envuelto en miles de hipótesis diferentes, hasta el más pequeño detalle y conclusión que se plantearon.

Sin ninguno de ellos habría sido posible este trabajo. Mi más sincero agradecimiento.

ÍNDICE

Resumen....454
Abstract....454
1. Introducción....454
1.1. Justificación....455
1.2. Hipótesis....456
1.3. Objetivos....456
2. Metodología....456
2.1. Instrumentos....457
3. Marco teórico....459
3.1 Estudio biológico-anatómico....459
3.1.1. Sexo biológico....459
3.1.2. Anatomía y fisiología de los aparatos reproductores....459
3.1.3. Pubertad....465
3.1.4 Diferencia entre sexo y género....465
3.2. Estudio cognitivo-emocional....466
3.2.1. Comprensión o conocimiento....466
3.2.2. Empatía....466
3.2.2.1. Entender la empatía....466
3.2.2.2. Métodos para medir la empatía....468
4. Recogida y análisis de datos....470
4.1. Datos generales....470
4.2. Análisis descriptivo....470
4.2.1. Análisis descriptivo general....470
4.2.2. Análisis descriptivo de los participantes según sexo....471
4.2.3. Análisis de significatividad....472
4.2.4. Análisis correlacional entre las dimensiones estudiadas....472
4.3. Análisis cualitativo de la pregunta abierta....473
4.3.1 Comentarios positivos hacía el estudio....473
4.3.2. Comentarios neutros o de crítica constructiva....473
4.3.3. Comentarios negativos hacia el estudio....474
4.4 Limitaciones del estudio....474
5. Conclusiones....475
5.1. Verificación de las Hipótesis del Estudio....475
5.2. Polarización de Género y el "Efecto Bachillerato"....475
5.3. Ineficacia del Modelo de Educación Sexual....475
5.4. Autopercepción y Brecha de Confianza....476
5.5. Síntesis Final....476
6. Próximas líneas de investigación....476
7. Referencias bibliográficas....476
8. Tablas....479
9. Anexos....479

RESUMEN

Este trabajo de investigación analiza si el autoconocimiento del cuerpo masculino está asociado con una mayor empatía hacia las mujeres y unas mejores reacciones ante situaciones que les afectan a ellas. Mediante un cuestionario propio administrado de forma anónima a 234 estudiantes de ESO, Bachillerato y FP (13–18 años), que combina percepción y prueba objetiva de conocimientos, adaptación del IRI y escenarios situacionales, se llevaron a cabo descriptivos, comparaciones y correlaciones (Pearson). Los resultados muestran que la Hipótesis 1 (correlación entre conocimientos y empatía) se confirma solo de forma débil. En cambio, la Hipótesis 2 (correlación entre empatía y reacción) se confirma con claridad, con una correlación fuerte en el total (r=0,64). Además, aparece un "efecto Bachillerato" donde las chicas incrementan significativamente su empatía de ESO a Bachillerato ($p < .00$), pero los chicos de Bachillerato puntúan peor en reacción que los de ESO ($p < .002$). En conjunto, los años de Biología elevan los conocimientos (y la empatía en chicas), pero no garantizan mejores reacciones en chicos; por ello, se concluye que una educación sexual centrada solo en anatomía es insuficiente y que las intervenciones deben priorizar la educación emocional y la perspectiva de género para impactar la conducta.

Palabras clave: empatía, autoconocimiento, educación sexual, sexos y género

ABSTRACT

This research examines whether self-knowledge of the male body is associated with greater empathy towards women and with more appropriate responses to situations that affect them. An original questionnaire was administered anonymously to 234 students in compulsory secondary education, upper secondary education, and vocational training (ages 13–18). It combined self-perception and objective knowledge tests, an adaptation of the IRI, and situational scenarios. Descriptive analyses, group comparisons, and Pearson correlations were conducted. The findings indicate that Hypothesis 1 (knowledge and empathy) is only weakly supported. In contrast, Hypothesis 2 (empathy and reaction) is clearly confirmed, showing a strong correlation in the overall sample ($r = 0.64$). In addition, a "Bachillerato effect" emerges: girls significantly increase their empathy levels from lower to upper secondary education ($p < .00$), whereas boys in upper secondary education score lower in reaction than boys in lower secondary ($p < .002$). Overall, more years of biology instruction increase knowledge (and empathy among girls), but do not guarantee better reactions among boys. Therefore, the study concludes that sexual education focused solely on anatomy is insufficient, and that interventions should prioritise emotional education and gender perspective in order to meaningfully impact behaviour.

Key words: empathy, self-knowledge, sexual education, sex and gender.

1. Introducción

Este trabajo de investigación tiene como objetivo establecer una relación mensurable entre el conocimiento que poseen los individuos del sexo masculino acerca de su pubertad y de su aparato reproductor, y su vínculo con la empatía hacia los individuos del sexo femenino en la etapa de la adolescencia. Esto se debe a que, cuando hablamos de pubertad o asistimos a una charla de educación sexual, se prioriza casi siempre la explicación de la menstruación y de los cambios en el cuerpo femenino, mientras que el sexo masculino queda en un segundo plano, en ocasiones por falta de tiempo o por considerarse de menor importancia su estudio o su complejidad. Por este motivo, muchos varones tienden a evitar o rechazar sus propios cambios, y existe un notable desconocimiento de su propia anatomía y fisiología.

Como señala Beauvoir: "La mujer tiene ovarios, un útero; he ahí condiciones singulares que la encierran en su subjetividad; se dice tranquilamente que piensa con sus glándulas. El hombre se olvida olímpicamente de que su anatomía comporta también hormonas y testículos" (*El segundo sexo*, 2005, p.4)

Reflexiones como estas suelen propiciar que ambos sexos rechacen la idea de que el hombre también se rige por su biología, del mismo modo que la mujer. Este trabajo pretende informar a los individuos del sexo masculino de este hecho para invitarlo a replantearse esa actitud de negación o rechazo social hacia las mujeres y acercar más a ambos sexos.

Para ello, es necesario aclarar algunos conceptos claves y abordarlos con cierto detalle, a fin de contar con la información completa.

1.1. Justificación

Una de las manifestaciones más consistentes de la diferencia de género en el ámbito socioemocional es la empatía. La evidencia empírica establece de manera robusta la existencia de una brecha en esta competencia. Un estudio realizado por Cabrera et al. (2010) con población adolescente concluye de forma contundente que "las mujeres adolescentes presentan mayor empatía y conducta prosocial en comparación a los hombres adolescentes"(p.34), quienes a su vez "alcanzan puntuaciones más altas en la conducta agresiva"(p.34). Esta divergencia no se resuelve con la edad, sino que se solidifica.

Este panorama plantea un problema central para la psicología del desarrollo y la educación: si bien la diferencia en los niveles de empatía entre géneros está sólidamente documentada, sus causas fundamentales no se comprenden en su totalidad. Esta falta de comprensión sobre los orígenes de la brecha empática limita severamente nuestra capacidad para diseñar e implementar estrategias educativas y de socialización que sean verdaderamente efectivas para fomentar la igualdad.

Para abordar esta laguna en el conocimiento, este estudio propone una hipótesis: se explorará la correlación entre el nivel de autoconocimiento de los adolescentes varones sobre sus propios procesos biológicos y corporales, específicamente, la pubertad, y su capacidad de empatía hacia las mujeres. Se postula que una comprensión más profunda del propio cuerpo es un precursor del entendimiento y la empatía hacia el cuerpo y las experiencias de los demás.

Si la hipótesis central del estudio se valida, es decir, si se encuentra una correlación positiva entre el autoconocimiento biológico y corporal masculino y la empatía hacia las mujeres, las implicaciones prácticas serán significativas. Los resultados servirán de base empírica para el diseño de nuevos programas de "educación emocional" (Bisquerra, 2003) y de educación. Específicamente, permitirán desarrollar intervenciones de educación afectivo-sexual que, en lugar de centrarse únicamente en la transmisión de información sobre la biología femenina a los varones, promuevan primero un profundo autoconocimiento de sus propios procesos. Este enfoque, al fomentar la empatía desde una base intrapersonal, ofrece una vía para la construcción de relaciones interpersonales más sanas y respetuosas.

El carácter innovador de esta investigación radica en su propuesta de establecer un vínculo no explorado previamente entre tres campos del saber que raramente dialogan de forma directa: el conocimiento biológico-corporal, las competencias socioemocionales, con un foco específico en la empatía y los estudios de género.

Validar esta conexión no solo abrirá una nueva línea de investigación prometedora, sino que también aportará evidencia a favor de una aplicación extendida del principio socrático "conócete a ti mismo". Demostrará que este principio no se limita al dominio abstracto de las emociones y los pensamientos, sino que se extiende a un dominio tangible y medible como es el conocimiento del propio cuerpo, con consecuencias directas sobre la interacción social y la equidad de género.

La elección de los adolescentes varones como grupo de estudio está estratégicamente justificada. La adolescencia es una etapa de desarrollo crítico, caracterizada, según Bisquerra (2003), por una mayor implicación en "comportamientos de riesgo". Estos comportamientos a menudo surgen de una búsqueda de sensaciones y de la experimentación con los límites. La "teoría de la inversión" de Apter (citada en Bisquerra, 2003) explica que la búsqueda de altos niveles de excitación *(arousal)* en los jóvenes puede llevar a "actos antisociales" si no se canaliza adecuadamente. Por ello, la educación en esta etapa es crucial para orientar estas energías de forma positiva y prosocial.

Además, los datos empíricos de Cabrera et al. (2010) demuestran que la brecha de género en la empatía ya está claramente establecida durante la adolescencia. Esto convierte a este período en un momento idóneo no solo para la investigación de sus causas, sino también para una potencial intervención. Actuar en esta ventana de desarrollo, cuando las identidades y las pautas de relación interpersonal se están consolidando, ofrece la mayor oportunidad de generar un impacto duradero.

Este estudio, aunque es específico en su alcance, se inscribe en un esfuerzo más amplio por comprender y, en última instancia, transformar las estructuras de desigualdad que persisten en nuestra sociedad. Abordar la brecha de empatía

desde sus posibles raíces formativas es un paso crucial hacia el objetivo de construir, en palabras de Lerner "un mundo que sea verdaderamente humano".(Lerner,1990, p.2).

1.2. Hipótesis

- Existe una correlación directa entre el grado de conocimiento de los varones adolescentes sobre su pubertad y sistema reproductor, y su empatía hacia las mujeres .
- Hay una correlación positiva entre el grado de empatía y la capacidad de reacción ante situaciones que afectan a las mujeres.

1.3. Objetivos

Objetivo general:

Analizar la relación existente entre el nivel de conocimiento sobre la propia pubertad y el sistema reproductor en adolescentes varones y su grado de empatía hacia las mujeres y el nivel de reacción ante situaciones que afectan a éstas con el fin de determinar si el autoconocimiento biológico actúa como un factor predictor de actitudes más empáticas e igualitaria y si la empatía general es un factor predictor a la hora de actuar ante situaciones que afectan a las mujeres.

Objetivos específicos:

Sistematizar los fundamentos teóricos existentes en la literatura científica sobre la fisiología de la pubertad masculina y los procesos de socialización de género, con el fin de integrar las perspectivas biológica y socioemocional en un marco conceptual unificado.

Elaborar un instrumento de recogida de datos que incluya las percepciones sobre el propio conocimiento, los conocimientos sobre los aspectos anatómicos y biológicos de los hombres, la empatía hacia las mujeres y el nivel de respuesta ante situaciones que afectan a la mujer.

Evaluar el nivel de conocimiento biológico: determinar el grado de información y comprensión que poseen los adolescentes varones de la muestra sobre su propia anatomía, fisiología reproductiva y los cambios hormonales y físicos asociados a su pubertad.

Medir la disposición empática: cuantificar los niveles de empatía (tanto cognitiva como afectiva) que manifiestan los participantes varones hacia las mujeres , identificando posibles patrones de distanciamiento u "otredad".

Establecer la correlación estadística: verificar si existe una asociación significativa y positiva entre las puntuaciones obtenidas en el conocimiento biológico masculino y los niveles de empatía hacia las mujeres, contrastando así la hipótesis central del estudio.

2. Metodología

En la fase inicial del estudio se realizó una amplia revisión bibliográfica con el fin de construir el marco teórico que sustente la investigación. Se empleó el uso de la IA (Open AI, 2025) para revisiones bibliográficas y búsqueda de fuentes. Este marco se articuló en torno a dos dimensiones interrelacionadas: la biológica y la social. En la dimensión biológica se recopiló y sistematizó información sobre la anatomía y la fisiología de los aparatos reproductores humanos, con especial atención al aparato reproductor masculino. El propósito de esta revisión no era únicamente describir la estructura física del cuerpo, sino comprender las bases biológicas sobre las que se asientan muchas creencias, actitudes y valoraciones sociales. A partir de esta fundamentación se elaboró un test diagnóstico orientado a evaluar el grado de conocimiento que los varones poseen acerca de su propio cuerpo y de los procesos asociados a la pubertad. Las preguntas de este instrumento se diseñaron siguiendo los contenidos curriculares de Biología de la ESO y de los dos cursos de Bachillerato, de modo que la prueba fuese coherente con la formación académica del alumnado (véase en el anexo 1).

Posteriormente, se desarrolló la dimensión social, centrada en los conceptos de género, empatía y relaciones interpersonales entre ambos sexos. Esta parte del marco teórico permitió situar la investigación en un contexto más amplio, donde el conocimiento biológico se vincula con la comprensión de las experiencias sociales que viven las mujeres. Sobre esta base conceptual se diseñó un segundo instrumento destinado a evaluar el nivel de empatía del alumnado masculino hacia situaciones específicas que afectan a las mujeres, integrando tanto elementos de empatía cognitiva como de toma de perspectiva.

Ambas pruebas se administraron a una muestra de 234 estudiantes de ESO, Bachillerato y FP, un rango de edad que se consideró especialmente adecuado debido a que los participantes acaban de terminar esta etapa o están atrave-

sando la pubertad. La muestra, formada por adolescentes de entre 13 y 18 años, se llevó a cabo en el contexto escolar. Estas edades se eligieron para evaluar la posible existencia de un aumento de conocimiento biológico y empático a lo largo de distintas etapas escolares.

La recogida de datos se realizó en formato digital y de manera anónima para garantizar la privacidad del alumnado y fomentar respuestas sinceras. Una vez obtenidos los resultados, se procedió a un análisis comparativo entre el desempeño en el test biológico y el nivel de empatía reflejado en el segundo instrumento, con el fin de explorar posibles relaciones entre el conocimiento que los chicos tienen de su propio cuerpo y su capacidad para comprender experiencias femeninas. Para ello se emplearon herramientas descriptivas como medias y distribuciones de frecuencia, además de la identificación de patrones de respuesta que permitan extraer conclusiones significativas para la investigación.

Tras este primer análisis descriptivo se realizó un análisis correlacional mediante el coeficiente de Pearson y un análisis de significatividad mediante la prueba t student. Tras comprobar el supuesto de normalidad.

2.1. Instrumentos

A fin de analizar la posible relación entre el conocimiento que los varones poseen sobre su propio cuerpo y su capacidad para comprender las experiencias que viven las mujeres, fue necesario diseñar un instrumento que recogiera de forma rigurosa, accesible y cualitativamente significativa tanto el nivel de competencias biológicas del alumnado como su grado de empatía específica hacia situaciones femeninas. Debido a que las escalas tradicionales de empatía no contemplan explícitamente escenarios relacionados con desigualdad de género o experiencias corporales propias de las mujeres, y a que los manuales de biología suelen centrarse casi exclusivamente en la dimensión anatómica o funcional del cuerpo, se elaboró un cuestionario para este trabajo que combina mediciones subjetivas, objetivas y situacionales. Este cuestionario no surge de la nada, sino que se apoya teóricamente en modelos consolidados de la evaluación psicológica, especialmente en la perspectiva multidimensional de la empatía de Davis y en las escalas emocionales que han sido empleadas para medir la comprensión del estado interno de otras personas. Véase en el anexo 2. De esta obra se toman las nociones de empatía cognitiva, toma de perspectiva y reconocimiento emocional, pero se reformulan para situarlas dentro de un marco concreto: la capacidad de un varón adolescente para comprender cómo una mujer vive situaciones de discriminación, vulnerabilidad o incomodidad en su día a día (Pérez-Albéniz,et al., 2003).

El instrumento se administró mediante formulario digital, asegurando el anonimato del alumnado y evitando cualquier identificación personal. Este formato, además de facilitar la participación voluntaria, reduce el sesgo derivado de la presencia del investigador y permite que el alumno responda en un entorno relativamente seguro, un aspecto especialmente relevante en un estudio que trata temas íntimos, sociales y biológicos. La elección de una herramienta como Google Forms se justifica también por su accesibilidad, su facilidad de difusión en contextos escolares y la transparencia con la que presenta al usuario la finalidad del estudio, tal y como se explicita al comienzo del cuestionario, donde se recuerda la libertad de participación, el uso docente-científico de los datos y la ausencia de consecuencias académicas.

El cuestionario está organizado en cinco bloques que se complementan entre sí. En primer lugar, se recogen datos sociodemográficos imprescindibles para contextualizar las respuestas: el género con el que se identifica el estudiante, el curso escolar en el que se encuentra, los años de formación biológica recibidos y si ha asistido a charlas o talleres de educación sexual. Se incluyen además preguntas sobre la convivencia o cercanía con mujeres en su entorno familiar o social. Estas variables no buscan clasificar al alumnado, sino comprender mejor los factores que pueden influir en la percepción del propio conocimiento o en la capacidad empática; varios estudios han demostrado que la experiencia educativa, la madurez académica y la exposición cotidiana a mujeres pueden modular la comprensión que un adolescente tiene de la desigualdad o de las experiencias corporales ajenas (López-Pérez y Ambrona, 2015; Sánchez-Queija, Oliva, Parra, 2006; López-Martínez y Sánchez-Rodríguez, 2019; García Pérez et al, 2010; Tur-Porcar et al, 2016). Del mismo modo, conocer la formación biológica previa permite matizar las diferencias entre conocimiento real y percepción de competencia, un aspecto especialmente importante en asignaturas como biología, donde la seguridad subjetiva no siempre coincide con el desempeño objetivo.

El segundo bloque del instrumento evalúa la percepción que el alumnado tiene de su propio conocimiento sobre el aparato reproductor masculino. Se utiliza una escala Likert de cuatro puntos, desde "no conozco nada" hasta "lo conozco perfectamente", aplicada a dieciséis enunciados distribuidos en cuatro áreas fundamentales: gametos, anatomía, hormonas y desarrollo (incluyendo pubertad y andropausia). Este tipo de autovaloración se fundamenta en los modelos de autoeficacia y en la literatura educativa que analiza las diferencias entre el conocimiento declarado y el conocimiento sentido.Su propósito es doble: por un lado, permite observar la confianza subjetiva del alumnado en su aprendizaje previo; por otro, ofrece un punto de comparación con el bloque siguiente, que mide el conocimiento real. Esta distinción entre percepción y rendimiento resulta clave para comprender si los adolescentes sobreestiman o subestiman su entendimiento del cuerpo masculino y si esta percepción influye en su disposición a empatizar con situaciones femeninas. (Kruger, Dunning,1999; Zohar, Barzilai, 2013)

El tercer bloque evalúa el conocimiento objetivo mediante doce preguntas de opción múltiple, cada una con una única respuesta correcta, estructuradas en los mismos cuatro núcleos conceptuales. Con este procedimiento se obtiene una medida estandarizada del desempeño real del alumnado en contenidos anatómicos, fisiológicos y hormonales. A diferencia de la autoevaluación del bloque anterior, aquí se miden conocimientos declarativos y procedimentales sin interpretación subjetiva, siguiendo el modelo clásico de pruebas de rendimiento académico. La comparación entre ambas secciones permite observar, por ejemplo, si un alumno que cree conocer bien su anatomía realmente la entiende o si existe una discrepancia que pueda explicar dificultades posteriores para reconocer experiencias ajenas.

El cuarto bloque se basa en una adaptación parcial del Interpersonal Reactivity Index (IRI) de Davis, centrada específicamente en dos de sus dimensiones: la toma de perspectiva y la empatía cognitiva. Estas dos subescalas han sido ampliamente utilizadas en poblaciones adolescentes y permiten evaluar la capacidad para comprender el punto de vista del otro y para identificar con precisión lo que siente o piensa. En el presente estudio, sin embargo, estas categorías se reformulan para que los enunciados se refieran explícitamente a mujeres y a la comprensión de sus experiencias. Se utiliza una escala Likert de cinco puntos, desde el desacuerdo total hasta el acuerdo total, e incluye además ítems de control que permiten detectar respuestas automáticas o sesgos de deseabilidad social. Con esta adaptación se busca medir no una empatía general, como la que suelen evaluar las escalas tradicionales, sino una empatía situada que permita determinar si un mayor conocimiento del cuerpo masculino se acompaña de una mayor capacidad para comprender realidades vividas por ellas mujeres.

El quinto bloque profundiza en esta dimensión mediante la presentación de situaciones reales o verosímiles que pueden generar incomodidad, desigualdad o discriminación hacia las mujeres. Cada situación ofrece cuatro opciones de respuesta que permiten observar si el alumno reconoce el malestar, legítima la reacción femenina, adopta su perspectiva o minimiza la situación. Este bloque se inspira en los métodos de evaluación de cognición social basados en escenarios contextualizados, en los que se valora la interpretación emocional y social del participante ante un caso práctico. Con ello se completa la medición de la empatía no solo desde la autorreflexión abstracta, sino también desde la capacidad concreta de responder ante experiencias que forman parte del día a día de muchas mujeres, especialmente en la adolescencia: el miedo nocturno, los comentarios sexuales no deseados, la presión estética o el dolor menstrual.

Por último, el cuestionario incorpora un espacio para comentarios opcionales, que permite recoger información cualitativa libremente expresada por el alumnado. Este componente, aunque no estructurado, añade matices importantes en investigaciones de este tipo, ya que algunos participantes pueden aportar vivencias, dudas o reflexiones que no encajan en los ítems cerrados.

La naturaleza global del instrumento responde a la necesidad de integrar varias dimensiones que, por separado, no permitirían comprobar adecuadamente la hipótesis planteada. La combinación de percepción subjetiva, evaluación objetiva, adaptación teórica del IRI y escenarios situacionales ofrece una visión amplia del modo en que un adolescente varón comprende su propio cuerpo y, al mismo tiempo, cómo interpreta el de las mujeres. Al tratarse de un tema íntimo y sensible, la administración online, el anonimato y la ausencia de cualquier evaluación académica son fundamentales para garantizar la sinceridad de las respuestas y minimizar el sesgo derivado del juicio social.

3. Marco Teórico

El presente capítulo se estructura en torno a dos grandes bloques: el bloque anatómico-biológico y el bloque cognitivo-emocional. Como se ha dicho anteriormente, el presente trabajo explora y estudia las posibles correlaciones entre ambos aspectos, por lo que en este marco teórico se profundizará en ellos con el objetivo de tener una visión más rica y completa que permita posteriormente entender los resultados obtenidos.

3.1. Estudio Biológico- Anatómico

En este apartado partiremos de la definición de sexo y exploraremos los aspectos principales de la anatomía y la fisiología de los aparatos reproductores. Una vez establecida esta base se explicará el periodo de la pubertad y las diferencias entre sexo y género.

3.1.1. Sexo Biológico

Según la RAE, el término "sexo" se define como: "Condición orgánica, masculina o femenina, de los animales y las plantas" o como "Órganos sexuales". Sin embargo, identificar el sexo únicamente con los órganos reproductores es una visión muy reduccionista. Un entendimiento biológico del sexo es más complejo e involucra múltiples factores que van más allá de la anatomía externa. A pesar de ello, por razones de espacio, en este trabajo nos centraremos en los aspectos anatómicos y fisiológicos que son los más alineados con la investigación que se ha llevado a cabo.

Las siguientes secciones detallarán las estructuras y funciones que, en conjunto, definen el sexo biológico desde una perspectiva anatómica y fisiológica, proporcionando una base sólida para comprender la reproducción humana.

3.1.2. Anatomía y Fisiología de los Aparatos Reproductores

En esta sección del marco teórico se explicará la fisiología y anatomía de ambos sexos, tanto sus órganos externos como internos, sus hormonas, algunos de sus procesos y sus funciones [1].

Mamas [2]:

Las mamas se localizan en la superficie del tórax y están presentes en ambos sexos; su composición incluye tejido glandular, tejido fibroso de soporte y tejido graso vascularizado con vasos linfáticos y nervios.Todas las mamas poseen glándulas mamarias y una estructura externa denominada pezón, localizada en la zona más prominente de la areola, un área de piel pigmentada. Estas glándulas mamarias se sitúan en el tejido subcutáneo entre el pectoral mayor y el pectoral menor.

En mujeres, las mamas reposan sobre el lecho mamario, desde el borde externo del esternón hasta la línea axilar media y de la segunda a la sexta costilla. Su forma y tamaño se relacionan con la grasa acumulada detrás de las glándulas. Entre la mama y la fascia pectoral existe el espacio retromamario de tejido subcutáneo laxo; puede observarse una prolongación glandular hacia la fosa axilar, denominada proceso axilar. Los ligamentos suspensorios unen la glándula a la dermis y contribuyen al sostén de lobulillos y lóbulos; cada lóbulo posee un conducto lactífero independiente con desembocadura en el pezón. La glándula mamaria es una glándula sudorípara modificada, carente de cápsula y vaina, cuyos alvéolos secretores se disponen en racimos.

En varones, las glándulas mamarias son rudimentarias, formadas por pequeños cordones epiteliales sin función específica; el tejido graso se comporta como subcutáneo general.

Aparato reproductor masculino:

Órganos externos:

Testículos:

Los testículos son gónadas pares, de forma ovoide. Miden aproximadamente entre 4 a 5 cm de altura y 2 y 3 cm de ancho. Son los responsables de la producción de espermatozoides y realizan funciones endocrinas relacionadas con los andrógenos (Kenhub, s. f ; Sarmah et al, 2023; Schlegel, 2022; Hansen, 2019). Se ubican fuera de la cavidad abdominopélvica para mantener una temperatura inferior a la corporal, siendo esta la adecuada para la espermatogénesis (Sarmah et al, 2023; ScienceDirect, s. f.; Maroto et al., 2025). Están rodeados por la túnica albugínea y se dividen internamente en lobulillos con túbulos seminíferos y tejido

1 Puede encontrarse una información más detallada de esta sección en el anexo 3.

2 Este apartado resume la información encontrada en las siguientes fuentes (Khan et al, 2025; Biswas et al., 2022; Cleveland Clinic, s.f.; Aranda-Gutiérrez & Díaz-Pérez, 2023; Moore et al, 2018, TeachMe Anatomy, 2025))

intersticial rico en células de Leydig, secretoras de testosterona (Kenhub, s. f, Sarmah et al, 2023). El epitelio germinal de los túbulos origina espermatogonias y células de Sertoli; estas últimas presentan funciones de soporte y participan en la barrera hematotesticular (Clínica Universidad de Navarra, s. f; Sarmah et al, 2023; Schlegel, 2022; Maroto et al., 2025).

Epidídimo:

El epidídimo es un conducto contorneado donde los espermatozoides completan su maduración; se divide en cabeza, cuerpo y cola. Si se estirara, alcanzaría una longitud aproximada de 7 metros. Su función es permitir la maduración y almacenamiento temporal de espermatozoides (Holstein et al., 2003; Robaire y Hinton, 2021; Hansen, 2019).

Conductos deferentes:

Son tubos musculares de músculo liso, con una longitud aproximada entre 35 y 50 cm, que transportan los espermatozoides desde el epidídimo hacia las vesículas seminales. Se encuentran en conjunto con nervios, fibras musculares y vasos, formando el cordón espermático en el escroto (MSD Manuals, s. f.; Hansen, 2019).



Imagen de creación propia basada en la lámina 10-7, D "Testículo y epidídimo:corte sagital" del libro *Cuaderno de anatomía para colorear* (3ª ed.), John T. Hansen (2019)

Pene:

Es un órgano externo por el cual confluyen la orina y el semen. Se compone de dos cuerpos cavernosos y un cuerpo esponjoso.

El cuerpo esponjoso alberga la uretra esponjosa y presenta menor tejido eréctil para evitar su compresión durante la eyaculación. Los cuerpos cavernosos se sitúan en la porción anterior, desde la rama isquiopubiana hasta la sínfisis púbica, y están rodeados por la túnica albugínea, que contribuye al mantenimiento de la erección. El glande se encuentra en el extremo distal y está recubierto por el prepucio; los dos tercios distales están envueltos por la fascia profunda (Kenhub, s. f.; MedlinePlus, s.f; Merck Manuals, s. f.; Cleveland Clinic, s. f.; Cigna, s. f.; Hansen, 2019).

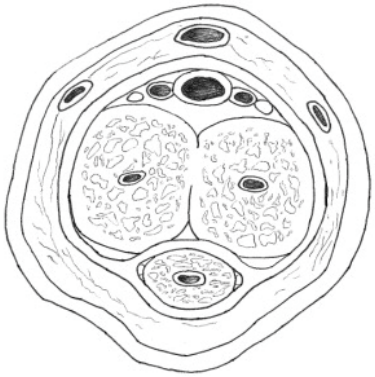


Imagen de creación propia basada en la lámina 10-8, C "Corte a través del cuerpo del pene" del libro *Cuaderno de anatomía para colorear* (3ª ed.), John T. Hansen (2019)

Órganos internos.

Vesículas seminales:

Las vesículas seminales son glándulas situadas por detrás de la vejiga y por encima de la próstata. Poseen una forma alargada y una capacidad de almacenar entre 2 a 3 ml de secreción. Su líquido es rico en nutrientes como la fructosa, los aminoácidos o proteínas. Este líquido favorece la movilidad y viabilidad espermática y constituyen alrededor del 60 % del volumen seminal. Se conectan con los conductos deferentes mediante el conducto eyaculador (Clínica Universidad de Navarra, s. f.; Cleveland Clinic, s. f.).

Conducto eyaculador:

El conducto eyaculador está formado por la unión del deferente con el conducto excretor de la vesícula seminal. Desemboca en la uretra prostática y facilita el paso del semen durante la emisión (Hyams et al, 2001).

Próstata:

Es una glándula del tamaño de una nuez y se encuentra situada bajo la vejiga y por delante del recto. Se divide en tres zonas; la de transición, la central y la periférica.

El líquido prostático ocupa el 30 % del semen, y nutre y protege a los espermatozoides en el útero. Como dice Apoteca Natura (s. f.): "Es un líquido lechoso de color claro y contiene numerosas enzimas (por ejemplo, fibrinolisina, fosfatasa ácida) y sustancias como zinc, sodio, potasio y prostaglandinas para el movimiento, nutrición y supervivencia de los espermatozoides, además de tener una función antibacteriana" (Galvis, s. f.).

Uretra masculina:

Es un conducto de aproximadamente 20 cm, que atraviesa la próstata y se extiende a lo largo del pene. Se divide

en la porción prostática, la cual se encuentra rodeada por el esfínter interno de músculo liso, la membranosa, rodeada por el esfínter externo de músculo esquelético, inervado por el nervio pudendo; y la esponjosa o cavernosa, que atraviesa el cuerpo esponjoso y el glande, donde se forma la fosa navicular (Kenhub, s.f; TeachMe Anatomy, s.f; Stoddard, 2023; Hansen, 2019).

Glándulas bulbouretrales:

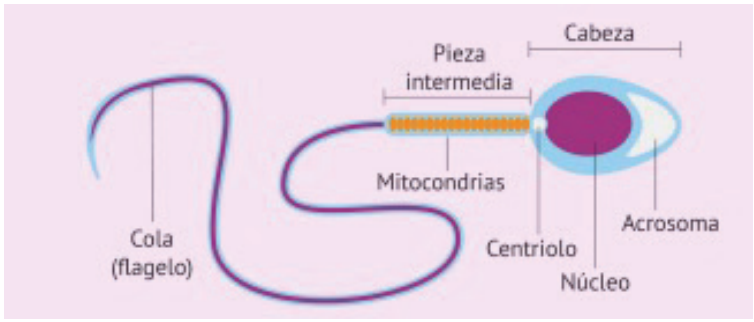
Las glándulas bulbouretrales, también denominadas glándulas de Cowper, se localizan en el músculo transverso profundo del periné. Son estructuras pequeñas que secretan moco claro, viscoso y alcalino, que neutraliza el ambiente uretral y facilita el tránsito espermático (Aula de Anatomía, s. f.; Kenhub, s. f; Rodríguez y Díaz, 2001).



Imagen de creación propia basada en la lámina 10-6, C "Corte sagital" del libro *Cuaderno de anatomía para colorear* (3ª ed.), John T. Hansen (2019)

Gametos masculinos:

Para poder profundizar en este proceso de la espermatogénesis debemos entender cómo se estructura y funciona los gametos sexuales masculinos. Espermatozoides:



Reproducción Asistida ORG. (2017, diciembre). *Cabeza de un espermatozoide* https://www.reproduccionasistida.org/wp-content/uploads/2017/12/espermatozoide-cabeza.jpg.webp

El espermatozoide es una célula especializada en transportar la información genética masculina hasta el ovocito. Está formado por una cabeza, una pieza intermedia y una cola.

La cabeza contiene el núcleo, con los 23 cromosomas paternos, y el acrosoma, una estructura que envuelve la parte anterior y contiene enzimas capaces de perforar la capa externa del ovocito. A continuación, el cuello une la cabeza con el resto del gameto y contiene el centriolo, que participa en la división del cigoto.

La pieza intermedia alberga numerosas mitocondrias que producen la energía (ATP) necesaria para el movimiento. Finalmente, la cola o flagelo, gracias a movimientos ondulantes, permite que el espermatozoide se desplace por el aparato reproductor (Pirez et al., 2020, Hansen, 2019).

Funciones:

Espermatogénesis:

La espermatogénesis es el proceso de formación de espermatozoides. Se produce mediante divisiones meióticas, que generan espermátidas. Estas se ven seguidas por eventos de diferenciación (Sánchez Amador, s.f). El proceso comienza con las espermatogonias, células madre ubicadas en la lámina externa del epitelio de los túbulos seminíferos junto a las células de Sertoli, que se dividen mitóticamente y forman espermatocitos primarios. Estos, se componen de 46 cromosomas, los cuáles sufren meiosis I y dan lugar a espermatocitos secundarios, compuestos por 23 cromosomas (22 autosomas y un sexual). Luego, estos se dividen y originan cuatro espermátidas que, mediante la espermiogénesis, se diferencian en espermatozoides maduros. Entender este proceso es clave para comprender la fisiología reproductiva y los problemas de fertilidad (Hansen, 2019).

Erección:

Es un proceso neurovascular regulado por el sistema parasimpático, que relaja el músculo liso de las arterias de los espacios cavernosos mediante el empleo de óxido nítrico y un aumento de GMPc.

La sangre llena los cuerpos cavernosos, expandiendo la túnica albugínea y comprimiendo las venas emisarias, dificultando el drenaje venoso y manteniendo la rigidez del pene (Kenhub, s. f.). Esta rigidez se mantiene mientras continúa la estimulación parasimpática. La degradación del GMPc y el aumento del tono simpático provocan la detumescencia (Hansen, 2019)

Eyaculación:

La eyaculación está regulada por el sistema simpático y se compone de dos fases:

La primera, la emisión, con contracciones del aparato reproductor (conductos deferentes, vesículas seminales, próstata) que llevan el semen a la uretra prostática, cerrándose el esfínter interno para evitar el reflujo.

Y la segunda la expulsión, con contracciones rítmicas del esfínter externo, músculos perineales y uretra esponjosa que proyectan el semen al exterior (Clement et al., 2016; Kenhub, s. f.; MedlinePlus, s. f.).

Aparato reproductor femenino:

Órganos externos:

Monte de Venus:

Es una prominencia adiposa suprapúbica, que tiene su origen en los labios externos. Durante la pubertad aparece vello y se observan glándulas sebáceas (Parrondo,et al., 2009).

Labios externos:

Son los pliegues que rodean el resto de estructuras externas. Contienen glándulas sudoríparas y sebáceas, productoras de secreciones lubricantes. Y desarrollan vello en la pubertad (Parrondo,et al., 2009).

Labios internos:

Son pliegues pigmentados sin folículos pilosos, con una alta vascularización. Durante la estimulación sexual pueden aumentar de tamaño. Anteriormente forman el prepucio del clítoris e, inferiormente, la horquilla perineal. Rodean las aberturas de la uretra (meato uretral) y la vagina (introito) (Parrondo et al., 2009).

Glándulas de Bartolino:

Se encuentran situadas a ambos lados de la abertura vaginal. Secretan, bajo estimulación, un líquido espeso que lubrica la vagina (Parrondo,et al., 2009)

Clítoris:

Es un órgano eréctil constituido por cuerpos cavernosos y envolturas, altamente sensible a la estimulación sexual (Parrondo et al., 2009).

Órganos internos.

Ovarios:

Son gónadas pares, encargadas de producir ovocitos y de secretar estrógenos y progesterona. Se suspenden por el mesovario, una porción del ligamento ancho; el extremo distal se conecta con la pared lateral de la pelvis por el ligamento suspensorio del ovario, que contiene vasos, nervios y linfáticos. Además, cada ovario se fija al útero mediante el ligamento propio del ovario (Hansen, 2019).

Trompas de Falopio:

Estos conductos se originan en las paredes superolaterales del útero y terminan en un infundíbulo franjeado que capta el ovocito ovulado. Se distinguen en diversas partes como el infundíbulo (con el ostium hacia la cavidad peritoneal), la ampolla (la región ancha donde con frecuencia ocurre la fecundación), el istmo (segmento estrecho que conecta con el cuerno uterino) y la porción uterina (que atraviesa la pared hasta la cavidad uterina). Se extienden a lo largo del mesosálpinx y parte del ligamento ancho (Hansen, 2019).

Útero:

Es un órgano muscular de músculo liso, hueco y con forma de pera, destinado a nutrir al feto durante su desarrollo (Sanitas, s. f; Praderio et al, 2016). Se divide en fondo (por encima de la unión de las trompas), cuerpo (porción media que se estrecha hacia el cérvix) y cuello uterino o cérvix (porción inferior con conducto endocervical que protruye en la parte superior de la vagina). Está sostenido por el diafragma pélvico y diversos ligamentos, y envuelto por el ligamento ancho. Su pared consta de endometrio, miometrio y perimetrio (Castillo Cañadas, 2011). Entre los soportes destacan la fascia pélvica, la vejiga urinaria y ligamentos estabilizadores del cuello y el cuerpo uterino, como los ligamentos cervicales transversos y los rectouterinos. El ligamento ancho es un doble pliegue peritoneal que extiende desde el útero hacia las paredes y el suelo pélvicos; ayuda a mantener la posición uterina y contiene ovarios, trompas e irrigación. En su borde libre rodea la trompa, y lateralmente se prolonga como ligamento suspensorio del ovario; se reconocen mesovario, mesosálpinx y mesometrio como porciones principales (Praderio et al., 2016; Castillo Cañadas, 2011).

Vagina:

Es un conducto musculomembranoso distensible de aproximadamente 8 o 9 cm, que se extiende desde el cérvix hasta el vestíbulo, delimitado por los labios internos. Presenta fórnix vaginal alrededor del cuello uterino y está recubierta por epitelio escamoso estratificado no queratinizado, lubricado

por moco cervical. La lámina propia presenta plexos vasculares que se congestionan durante la estimulación sexual. La acción de los músculos pubovaginal, esfínter externo de la uretra, esfínter uretrovaginal y bulboesponjoso contribuye a la compresión del conducto (Castillo Cañadas, 2011).

Gametos femeninos.

Óvulos y ovocitos:

El ovocito es la célula reproductiva femenina, y solo unos pocos maduran por completo en la vida fértil. Cada uno se encuentra dentro de un folículo, cuya estructura cambia con el desarrollo (Biología y Geología, s.f.) Se compone de un folículo primordial, ovocito primario con una capa de células planas; el folículo primario donde las células son cúbicas y se encuentran en formación de la zona pelúcida; el folículo secundario, donde aparece el antro y se forman la teca interna y externa; y por último el folículo de Graaf o folículo maduro con un gran antro, es en este momento donde el ovocito se desplaza lateralmente, listo para la ovulación.

Tras la ovulación, el ovocito queda rodeado por la zona pelúcida y la corona radiada (células foliculares protectoras) (Biología y Geología, s.f). El resto del folículo se convierte en cuerpo lúteo, que segrega progesterona. Si no hay fecundación, este se degenera y forma el cuerpo albicans. (Hansen, 2019)

Ciclo menstrual:

Es un proceso fisiológico que dura entre 21 a 35 días, siendo lo habitual 28, regulado por el sistema endocrino y compuesto por dos ciclos sincronizados: ovárico y uterino (Biología y Geología, s.f.).

La fase menstrual, de los días 1 al 4 donde el endometrio se descama y necrosa por la caída de estrógenos y progesterona. Ocurre cuando no hay fecundación y el cuerpo lúteo se degenera. El sangrado promedio es de 35–50 ml (Hansen, 2019). Después se desarrolla la fase folicular o proliferativa (días 5–13); el endometrio se regenera y engrosa, alrededor de 0,5 mm a 2 o 3 mm gracias a los estrógenos (Hansen, 2019). Coincide con la fase folicular ovárica (días 1–13), donde la FSH estimula el desarrollo folicular. Sólo uno madura y produce estrógenos, que alcanzan su pico antes de la ovulación. La fase lútea o secretora se da en torno a los días 14–28, gracias a la LH y la FSH que provocan la ovulación del folículo de Graaf alrededor del día 14. El folículo se convierte en cuerpo lúteo, que secreta progesterona para preparar el endometrio para la implantación, volviéndolo rico en glándulas y vasos. También se secretan estrógenos e inhibina, esta última inhibe la liberación de GnRH mediante retroalimentación negativa. Si no hay fecundación en el día 28, se inicia la menstruación y comienza un nuevo ciclo (Hansen, 2019).

Hormonas sexuales femeninas y masculinas:

Como señala Brizendine en su libro El cerebro femenino (2008), que existen diversas hormonas que afectan al sexo femenino (y al masculino), no solo al aparato reproductor, sino también al sexo en un sentido más general.

- **Andrógenos:**

Los andrógenos son hormonas sintetizadas en por las células de Leydig en los testículos y en otros órganos como el hígado, la piel y tejidos adiposos. Son los precursores de la hormona sexual testosterona y del estradiol, un tipo de estrógeno. (Amado, y Flórez, 2003)

- **Testosterona:**

La testosterona es la hormona sexual masculina, aunque cumple un papel fundamental en ambos sexos, así como su gran importancia en el desarrollo folicular, el deseo sexual y el crecimiento óseo y el desarrollo muscular. Es cierto que hay un nivel mayor en los hombres, sobre todo en la pubertad, para su desarrollo genital y su buen funcionamiento. Pero la testosterona juega diversos papeles, como favorecer la aparición de los caracteres sexuales secundarios, como la disposición del vello en el cuerpo y la modificación de la voz. Estimula la secreción de las glándulas sebáceas y favorece la aparición de acné. La testosterona ayuda a los procesos de cognición y sueño junto con la vasopresina (Amado, y Flórez, 2003)

- **Vasopresina:**

La vasopresina presenta diversas funciones como en el estrés y el funcionamiento cardiovascular, pero, al igual que la oxitocina presenta un papel importante en las relaciones sociales al actuar en el reconocimiento social. Pero su papel tiene más importancia en los individuos del sexo masculino. (Mondragón-Ceballos, et al, 2023)

- **Sustancia Inhibidora Mülleriana (SIM):**

La hormona SIM cumple un factor vital en el desarrollo de los órganos sexuales de ambos sexos en el desarrollo del

embrión. La SIM hace que los conductos de Müller se encojan y ayuda a que crezcan los órganos masculinos. Los niveles de SIM se mantienen altos en los niños hombres hasta la pubertad, cuando comienzan a disminuir. Las mujeres que no han nacido aún tienen niveles muy bajos de AMH. Esto permite que los conductos de Müller se conviertan en el útero, las trompas de Falopio y la parte superior de la vagina. En la pubertad, los folículos dentro de los ovarios comienzan a producir más AMH (MedlinePlus, s.f).

- **Prolactina:**

La PRL participa en una gran variedad de procesos fisiológicos dentro de los que se encuentran la regulación del metabolismo, el crecimiento, diferenciación y proliferación celular y la reproducción. (*Citado de Prolactina: mecanismos intracelulares involucrados en la función prostática*. *Rev Med UV*. Mathey et al, 2009).

- **Dopamina:**

La dopamina, si se estimula por el estradiol y la testosterona, cumple un gran papel en la excitación sexual y el placer (Avila et al, 2023)

- **Estrógeno:**

Esta hormona se forma a partir del colesterol, una molécula grasa (Sanitas, s. f.). El estrógeno se encuentra no solo en el cuerpo femenino, sino que es liberado por distintos órganos [3], por lo tanto, se encuentra también en niños y hombres. Es el encargado de diversas funciones, ya sean la salud ósea o el desarrollo cognitivo, y se ocupa de dar comienzo al ciclo menstrual y de varias consecuencias del desarrollo producido en la pubertad, como el desarrollo de los senos y el crecimiento del vello púbico. Existen diversos tipos de estrógenos en las mujeres , principalmente cuatro (Castillo Cañadas, 2011):

La estrona (E1), producida en los ovarios. Es un estrógeno débil [4]. El estradiol (E2), por el contrario, es el más activo de los estrógenos y posee una gran influencia sobre el ciclo menstrual. Es liberado por los ovarios. Este tipo de estrógeno forma un fuerte enlace con los receptores de estrógeno. El estriol (E3) es el estrógeno principal durante el embarazo. Es liberado por la placenta a partir del quinto mes de embarazo y también es un estrógeno débil. Y, por último, el estetrol (E4), el cual es producido únicamente durante el embarazo, en el hígado del feto.

En hombres, los estrógenos se ven principalmente como estradiol, estimulando el libido, la erección, el desarrollo óseo y la función cerebral.

- **Progesterona:**

La progesterona es una hormona sexual perteneciente al grupo de los progestágenos [5]. Se encarga de detener la acumulación del endometrio causada por el estrógeno, reducir la producción del moco cervical [6], inhibir la ovulación cuando se encuentra en niveles altos, preparar el endometrio [7] para la posible implantación de un óvulo fecundado y apoyar el desarrollo mamario. También desarrolla las glándulas mamarias durante el embarazo en preparación para la lactancia, y relaja el útero para evitar contracciones (Sanitas, s. f.).

- **Oxitocina:**

Según la RAE, es una hormona producida por la hipófisis que estimula la contracción uterina y la secreción de leche en la glándula mamaria. Según la psiquiatra Marian Rojas, es conocida como "la hormona del amor", pues participa en el establecimiento de vínculos afectivos, en la intimidad y en la confianza (Universidad Europea, s. f.).

- **Cortisol:**

Según el Instituto Nacional del Cáncer, es una hormona elaborada por la corteza suprarrenal que ayuda al cuerpo a usar glucosa, proteína y grasas. El cortisol producido en laboratorio se llama hidrocortisona y se emplea en tratamientos médicos como inflamación, alergias y cáncer (Instituto Nacional del Cáncer, s. f.).

- **DHEA (dehidroepiandrosterona):**

Es una hormona esteroidea producida en las glándulas suprarrenales, el hígado y los ovarios. Actúa como precur-

3 Podemos encontrar estrógenos en órganos como los tejidos grasos, los huesos, la piel, el hígado y la glándula suprarrenal. También lo podemos encontrar en los testículos en hombres adultos

4 Existen distintos tipos de estrógenos que tienen mayor impacto en el cuerpo humano y otros que no tienen una función tan principal, sino que poseen un papel más secundario, como unirse a los receptores de estrógeno.

5 Los progestágenos son un grupo de hormonas cuya función es mantener el embarazo, aunque también están presentes en otras fases del ciclo estral y menstrual

6 El moco cervical o moco del cuello uterino es una secreción producida dentro del cérvix.

7 La progesterona disminuye la actividad intestinal, lo que puede provocar estreñimiento.

sor de otras hormonas sexuales, como los estrógenos y los andrógenos (Clínica Universidad de Navarra, s. f.).

- **Androstendiona:**

Es un esteroide sexual que funciona como precursor de la testosterona y del estradiol. Se sintetiza en las glándulas suprarrenales y en las gónadas, y participa en el equilibrio hormonal y la regulación del ciclo menstrual (Vivo Labs, s. f.).

- **Alopregnenolona:**

Es un neuroesteroide derivado de la progesterona. Tiene efectos ansiolíticos, antidepresivos y neuroprotectores, ya que modula la actividad del neurotransmisor GABA[8] en el sistema nervioso central (Nieto Rodríguez, 2017).

3.1.3 Pubertad

La pubertad es el proceso biológico mediante el cual el organismo infantil adquiere la capacidad reproductiva y se producen transformaciones somáticas, endocrinas, neurológicas y psicosociales que inauguran la adolescencia. En términos clínicos, y de forma especialmente clara, Temboury Molina la define así: "La pubertad es el período final del crecimiento y maduración del niño en el que se alcanza la capacidad reproductiva, es una etapa de transición entre la infancia y la edad adulta. Comienza cuando aparecen los caracteres sexuales secundarios y aumenta la velocidad de crecimiento, más adelante el niño va experimentando cambios somáticos y psicológicos que progresan ordenadamente, hasta que al final alcanza la talla adulta, la madurez psicosocial y la fertilidad" (Temboury Molina, 2009).

En el plano biológico, la pubertad se organiza en torno a la reactivación del eje hipotálamo-hipófiso-gonadal (HPG) y los cambios en el eje hipotálamo-hipófiso-adrenal (HPA). La liberación de GnRH promueve la secreción de LH y FSH, que a su vez estimulan los ovarios y los testículos, elevando así los niveles de estrógeno y testosterona, desencadenando en el desarrollo de caracteres sexuales secundarios, como la menarquia (la primera menstruación) o la espermarquia (la primera eyaculación) y el estirón puberal (Susman y Rogol, 2004). Estos cambios conviven con una reorganización neurobiológica. La maduración de los circuitos límbico-recompensa se acelera antes que el desarrollo de la corteza prefrontal, incrementando así la búsqueda de sensaciones y la sensibilidad a la recompensa social mientras las capacidades de planificación y autorregulación siguen alineándose (Casey et al 2011; Blakemore y Mills, 2014).

La variabilidad en la edad y el ritmo de maduración es clave para entender las experiencias de los adolescentes. La maduración temprana o tardía se asocia a perfiles psicosociales diferentes. En general, la maduración temprana en las chicas se asocia con una mayor insatisfacción con el propio cuerpo, más riesgo de ansiedad y tristeza persistente, más presión social y una mayor probabilidad de relacionarse con grupos de amistades algo mayores. La maduración tardía puede implicar menor reconocimiento entre iguales al principio, pero también protege en cierta medida frente a las presiones para empezar antes conductas, como el alcohol. En chicos, la maduración temprana suele vincularse a ventajas de estatus social, pero también a una mayor exposición de conductas impulsivas y agresivas. La maduración tardía es propensa a una vulnerabilidad social y emocional en entornos que valoran la fortaleza y el tamaño corporal (Steinberg, 2014). Estas tendencias no son deterministas: los contextos familiares y escolares, las redes de apoyo y el clima de aula pueden amplificar o amortiguar sus efectos.

La pubertad, además, se vive dentro de normas y expectativas sociales como la familia, los colegios e institutos, los medios de comunicación, los valores religiosos y los estereotipos de género, que dan sentido a los cambios del cuerpo y condicionan su experiencia. Esto influye en la imagen corporal, la autoestima, la gestión de la intimidad y la experiencia emocional del alumnado.

3.1.4 Diferencia entre Sexo y Género

Para comprender la diferencia entre los términos de género y sexo, partimos de la distinción formulada por la filósofa Lerner (1990). En esta, el sexo queda definido como un hecho biológico, refiriendose a las características corporales y reproductivas, mientras que el género nombra el conjunto de expectativas, normas y papeles socialmente asignados a mujeres y hombres en contextos históricos concretos. En palabras de Lerner (1990), el género funciona como una "máscara" o "camisa de fuerza", un dispositivo cultural que organiza la conducta y distribuye poder simbólico y ma-

8 La principal función del neurotransmisor GABA es reducir la excitabilidad neuronal del sistema nervioso, fundamental para el funcionamiento cerebral normal y para la prevención de la sobreexcitación y otras patologías neurológicas.

terial. Esta diferenciación no es un detalle terminológico. Confundir sexo y género borra la frontera entre naturaleza y cultura, y dificulta ver que, aquello que aparece "natural" es, muchas veces, el resultado de procesos de socialización, instituciones y discursos que pueden cambiar.

Sobre esta base, varias autoras y autores contemporáneos amplían el marco. Scott (2009) propuso entender el género como una categoría útil de análisis histórico, es decir, como un principio organizador de significados y relaciones de poder que estructura la experiencia, el acceso a recursos y la legitimidad del saber. El género no solo clasifica personas; ordena símbolos, define normas y jerarquías y se entrelaza con instituciones, como la familia, la escuela o el Estado, que lo reproducen.

Desde la teoría social, West y Zimmerman (1987) definieron el género como *doing gender*. Entendiéndose esta como una práctica situada, algo que se hace en la interacción cotidiana. Más que "roles" fijos que se ocupan, el género es una práctica continua sometida al juicio de los otros. Los modos de hablar, de vestir, de moverse y de decidir, que obtienen recompensas o castigos según encajen con lo que el grupo considera adecuado. En la misma línea, Butler (2007) plantea que el género se construye en la práctica. Es decir, se mantiene y parece "natural" por la repetición de actos, gestos y palabras.

En el terreno de las estructuras, Connell (2015) muestra que el género no es una sola línea de dominación sino un régimen con múltiples posiciones y arreglos, entre ellos las masculinidades hegemónicas que legitiman la superioridad de ciertos modelos de varón sobre otros varones y sobre las mujeres. El género, así, no es simétrico ni neutral, sino que produce desigualdades en salarios, cuidados, riesgos y reconocimientos.

La distinción sexo/género también dialoga con las ciencias y la medicina. Aunque el sexo se apoye en lo biológico, autoras como Fausto-Sterling (2000) han mostrado que lo biológico mismo se interpreta a través de lentes sociales y clínicas que clasifican cuerpos en categorías binarias, a menudo invisibilizando la diversidad corporal (intersexualidades) y reforzando circuitos de normalización.

Desde la antropología feminista, Rubin (1986) acuñó la noción de sistema sexo/género para describir la traducción cultural de la diferencia sexual en arreglos de parentesco, intercambio y regulación del deseo. Esta mirada ayuda a ver que el género no solo clasifica trabajos o espacios, sino que administra alianzas, herencias y sexualidades. Complementariamente, el marco de la interseccionalidad recuerda que el género no actúa aislado: su significado y sus efectos se entrelazan con raza, clase, etnicidad, sexualidad, discapacidad o migración, produciendo experiencias diferenciadas y desigualdades específicas.

Volviendo a Lerner (1990), distinguir claramente sexo como una dimensión biológica y género como una construcción sociohistórica, es clave para nombrar la desigualdad y para diseñar intervenciones eficaces. Si confundimos los términos, corremos el riesgo de naturalizar lo que es cultural y, por tanto, transformable. En cambio, asumir el género como campo de significados, prácticas y poder, históricamente situado, performativo e institucional, permite comprender cómo se produce lo "apropiado" para cada sexo.

3.2. Estudio Cognitivo-Emocional.

Este apartado examina los procesos que conectan saber, sentir y actuar en contextos de género: cómo el conocimiento del alumnado se integra con la toma de perspectiva y la respuesta afectiva para sostener conductas prosociales hacia las mujeres.

3.2.1. Comprensión o Conocimiento

En este marco, entendemos por comprensión la "facultad, capacidad o perspicacia para entender y penetrar las cosas", y por conocimiento el "entendimiento, inteligencia, razón natural" (RAE, s. f.). Diferenciar ambos términos es operativo: mientras el conocimiento remite a la disponibilidad de información (p. ej., contenidos de biología sobre pubertad o fisiología), la comprensión alude a la organización significativa de esa información para interpretar contextos sociales concretos. Esta distinción permite evaluar no solo qué saben los estudiantes, sino cómo ese saber se integra con procesos de toma de perspectiva y regulación emocional que sustentan la empatía y su expresión conductual.

3.2.2. Empatía

3.2.2.1. Entender la Empatía.

- **¿Qué es?**

La dimensión afectiva alude a la reacción emocional que suscita el estado del otro (sentir tristeza ante el dolor aje-

no, inquietud ante su miedo), y suele emerger de manera temprana en el desarrollo. La dimensión cognitiva se refiere a la toma de perspectiva, es decir, a la capacidad de comprender lo que le ocurre a la otra persona y por qué, distinguiendo entre el yo y los demás y regulando la propia respuesta (Davis, 1980; Eisenberg et al, 2005). A ello se añade una dimensión perceptual, que implica representar mentalmente la situación del otro situada en un tiempo y un espacio concretos (Eisenberg y Strayer, 1987; Fernández-Pinto et al, 2008). Finalmente, conviene diferenciar entre empatía situacional, la respuesta que se activa frente a un caso concreto, y la empatía disposicional, una tendencia estable a responder empáticamente en distintos contextos (Litvack et al, 1997). La trayectoria evolutiva sugiere que lo afectivo aparece antes y que lo cognitivo se va afinando con la maduración de las funciones que permiten separar la propia vivencia de la ajena (Chakrabarti y Baron-Cohen, 2006; Eisenberg et al., 2005).

Se ha explorado de manera consistente el vínculo entre empatía y conducta prosocial: ayudar, cooperar, consolar o actuar en beneficio de otra persona. Diversos estudios con personas adultas, niños y adolescentes informan asociaciones positivas entre mayor empatía y mayor prosocialidad [9] (Carlo, Roesch y Melby, 1998; Estrada, 1995, citado de Sánchez Queija et al, 2005; Garaigordobil y García de Galdeano, 2006; Mestre et al, 2004; Strayer y Roberts, 2004). Las inducciones empáticas [10], incrementan la cooperación, especialmente cuando existe conocimiento previo o cercanía entre las personas implicadas (Batson y Moran, 1999), y pueden reducir prejuicios al dirigir la atención hacia miembros concretos de un grupo estigmatizado (Stephan y Finlay, 1999). Ahora bien, conviene matizar: siguiendo a Eisenberg y Fabes (1991), la preocupación por el otro (a veces traducida como "simpatía") suele relacionarse de manera más consistente con la ayuda efectiva, y los datos son más robustos cuando se analiza la empatía situacional que cuando se toma la disposicional como único indicador (Calvo et al., 2001).

La empatía no opera por sí sola, está mediada por normas, expectativas y estereotipos de género. Un ejemplo claro lo ofrecen López-Pérez y Ambrona (2015): en su estudio, la identidad de género de la persona hacia la que se dirige la empatía modula tanto la intensidad de la respuesta como su traducción en conductas de ayuda; en concreto, la empatía predijo que la ayuda era mayor cuando la persona afectada era una mujer. Este hallazgo apunta a un aprendizaje social en el que las emociones ajenas se leen a través de códigos que no son neutrales al género.

En coherencia con ello, la investigación sobre actitudes hacia la igualdad muestra que el contexto educativo y familiar condiciona dichas actitudes y que, de media, los chicos tienden a sostener posiciones menos igualitarias que las chicas (Sánchez-Queija et al, 2006; López-Martínez y Sánchez-Rodríguez, 2019). De ahí que resulte metodológicamente necesario evaluar la empatía hacia experiencias específicamente femeninas (el dolor menstrual, el acoso, la presión estética, entre otras) cuando el interés es comprender la sensibilidad masculina ante situaciones que viven mayoritariamente las mujeres.

El ámbito educativo emerge como un espacio clave para aprender a reconocer y regular las propias respuestas y para afinar la toma de perspectiva. La educación emocional se ha propuesto precisamente como respuesta a necesidades sociales que el currículo académico no cubre por sí solo, como el estrés, la ansiedad, la violencia o conductas de riesgo (Bisquerra, 2003). Entre sus competencias principales destaca la conciencia emocional, entendida como el conocimiento de las propias emociones y de las emociones de los demás, y que se cultiva mediante la autoobservación y observación guiada del comportamiento ajeno (Bisquerra, 2003; Serrano y Oliva, 2016). Incorporar en el aula experiencias que entrenen la toma de perspectiva, la identificación de estados afectivos y regulación, al tiempo que se desactivan estereotipos de género y se revisa el clima de convivencia, favorece que la empatía no quede en una reacción momentánea, sino que se traduzca en acciones prosociales sostenidas (Carlo, Haussmann, Christiansen y Randall, 2003; Carlo y Randall, 2002; Eisenberg, et al, 2001; Carlo et al., 2010; Eisenberg et a. 2006; Gutiérrez et al, 2011; Mestre et al, 2007).

En síntesis, la empatía se comprende como la capacidad y el proceso que integra afecto, cognición, percepción y contexto. Su desarrollo temprano, su relación con la ayuda efectiva y su sensibilidad a los códigos de género la convierten

9 La prosocialidad, es un conjunto de comportamientos que favorecen a otras personas mientras generan relaciones recíprocas positivas.
10 Situaciones diseñadas para hacer que el observador se ponga en el lugar de otro.

en una pieza imprescindible para analizar cómo se forma el juicio moral y cómo se sostienen, o se transforman, las prácticas de cuidado en la escuela y más allá de ella.

- **¿A qué edades se desarrolla la empatía?**

La empatía emerge muy temprano como contagio emocional, véase el ejemplo del llanto reactivo ante el llanto de otro, y se va volviendo más complejo progresivamente hasta incluir mecanismos cognitivos de toma de perspectiva. En el modelo clásico de Hoffman, esta última etapa, el role taking, culmina en la adolescencia, tras un incremento general de la empatía a lo largo de la niñez y la pubertad (López-Pérez & Fernández-Pinto, 2010).

En la edad escolar (10–12 años), además de observarse diferencias por sexo, donde las niñas suelen puntuar más alto, se ha observado la importancia del clima educacional. Un estilo autoritario con una alta calidez y normas claras, se asocia con mayores niveles empáticos, lo que subraya que la maduración va de la mano de los contextos familiares y escolares (Alvarado Calderón, 2012).

A partir de la adolescencia y a lo largo de la adultez, la empatía muestra un perfil multidimensional. Los componentes afectivos tienden a mantenerse estables con la edad, mientras que los componentes cognitivos como la comprensión y la toma de perspectiva muestran un descenso en los grupos de mayor edad respecto a los más jóvenes (López-Pérez & Fernández-Pinto, 2010).

3.2.2.2. Métodos para medir la empatía.

A lo largo de las últimas décadas se han desarrollado diversas herramientas para medir la empatía, tanto en su dimensión cognitiva como afectiva. Entre las más relevantes se encuentran la Escala de Dymond, orientada a la predicción conductual; la Escala de Hogan, centrada en habilidades sociales; la Escala de Empatía Emocional (EES) de Mehrabian y Epstein, que mide la reactividad emocional; el Test de Empatía Cognitiva y Afectiva (TECA), desarrollado en el contexto hispano; y el Índice de Reactividad Interpersonal (IRI), ampliamente validado y utilizado en la literatura psicológica por su enfoque multidimensional (Olivera et al, 2011)[11].

11

- **Escala de Dymond:**

De esta escala no se posee ninguna información, más que se comprobó su falta de precisión. Fue creada en 1949 con el objetivo de medir la precisión en las predicciones realizadas por el sujeto evaluado, no la capacidad de comprenderlo o sentir aquello que el otro siente.

- **Escala de Hogan:**

Es una escala de autoadministración.# Consta de 64 ítems y está dividida en cuatro subescalas: la autoestima, el temperamento, la sensibilidad y el no conformismo (ausencia de conformidad). La hipótesis de Hogan sostenía que existía un vínculo directo entre la empatía y el desarrollo moral, considerando la empatía como parte de los comportamientos socialmente apropiados. Esta escala resulta más adecuada para medir las habilidades sociales y se reconoce por su utilidad en la explicación de la empatía cognitiva.
Posteriormente fue sustituida por otra escala, conocida como Índice de Reactividad Interpersonal (IRI).

- **Escala de Mehrabian y Epstein (EES):**

La escala es conocida como Escala de Empatía Emocional (EES) (véase anexo 2). Al igual que la anterior, se trata de una escala autoadministrada y se compone de 33 ítems. Estos se valoran en una escala que va de -4 a +4, siendo -4 'completamente en desacuerdo' y +4 'completamente de acuerdo'. La escala presenta dos dimensiones: la ausencia de agresividad hacia el otro y la conducta de ayuda. Asimismo, incluye cuatro subescalas que responden a dichas dimensiones: la susceptibilidad al contagio emocional, la apreciación de los sentimientos de personas ajenas al círculo cercano, la respuesta emocional extrema, la tendencia a conmoverse ante las experiencias positivas de los demás y el deseo de entrar en contacto con otras personas que tienen problemas.
Mehrabian y Epstein partían de la hipótesis de que una persona con un alto nivel de empatía emocional presenta menos probabilidades de comportarse de manera agresiva. Esta escala se utiliza ampliamente en psicología social y evolutiva.

- **Escala de Empatía Emocional Balanceada (BEES):**

La Escala de Empatía Emocional Balanceada (BEES) es una segunda versión de la escala anterior. A diferencia de esta, la BEES cuenta únicamente con 30 ítems y dispone de una versión validada en español.

- **Índice de Reactividad Interpersonal de Davis (IRI):**

Esta escala también es de autoadministración y se compone de 28 ítems. Se puntúa del 1 al 5, siendo 1 'de acuerdo' y 5 'en desacuerdo'. Está dividida en cuatro subescalas: la toma de perspectiva, la preocupación empática, el sufrimiento personal y la fantasía (empatía generada por la ficción). Esta escala ha mostrado excelentes resultados en la medición de propiedades psicométricas.
Se han encontrado ciertas diferencias de género en los resultados: el patrón general indica que las mujeres puntúan más alto en reactividad emocional (como en la fantasía), mientras que los hombres obtienen puntuaciones más elevadas en toma de perspectiva.
La hipótesis de Hoffman sostenía que a mayor nivel de toma de perspectiva, mayor nivel de preocupación empática y menores niveles de sufrimiento personal. Esta escala resulta especialmente valiosa debido a su naturaleza multidimensional. Se ha realizado una versión en español, tanto para adultos como para adolescentes de ambos sexos, que confirma la teoría.

Este último, desarrollado por Davis (1980), ha demostrado ser especialmente útil en contextos donde se requiere una medición diferenciada entre la capacidad de comprensión del otro (empatía cognitiva) y la respuesta afectiva ante su sufrimiento (empatía emocional).

- **Método elegido:**

Tras un análisis comparativo de las principales escalas de medición de empatía, se ha seleccionado el Índice de Reactividad Interpersonal (IRI) desarrollado por Davis (1980), por su estructura multidimensional y su amplia aceptación y validación en contextos de investigación psicosocial. Este instrumento incluye cuatro subescalas, de las cuales se utilizarán específicamente dos: toma de perspectiva y preocupación empática.

La subescala de toma de perspectiva permite evaluar la capacidad del sujeto para comprender el punto de vista del otro, lo cual es esencial para explorar el grado en que los hombres pueden comprender las experiencias femeninas, incluso cuando no las han vivido directamente. Por su parte, la subescala de preocupación empática mide la reacción emocional del individuo ante el sufrimiento ajeno, permitiendo analizar si esa comprensión cognitiva se traduce en una respuesta emocional empática.

La elección de estas dos subescalas responde a la necesidad de evaluar no solo la capacidad de "ponerse en el lugar de la otra persona", sino también la disposición afectiva hacia el otro. Esta combinación resulta especialmente adecuada para el objetivo de este estudio, ya que permite observar con mayor profundidad la dinámica entre comprensión y emoción, y cómo esta puede verse afectada por la pertenencia de género del otro.

Otras escalas fueron consideradas, pero finalmente descartadas por diversas razones. La Escala de Dymond fue eliminada por su enfoque en la precisión predictiva más que en la empatía como experiencia afectiva. La Escala de Hogan, aunque útil en el estudio de habilidades sociales, no ofrece una medición específica de empatía hacia colectivos concretos ni de sus componentes emocionales. La Escala de Empatía Emocional (EES) de Mehrabian y Epstein, si bien proporciona una valiosa medición de la reactividad emocional, carece de una dimensión cognitiva clara, necesaria en este estudio. La versión revisada de esta escala (BEES) presenta las mismas limitaciones.

Asimismo, escalas como el TEQ y el Empathy Quotient fueron descartadas por su carácter más general o clínico, orientado a trastornos del espectro autista, mientras que el TECA fue considerado redundante frente al IRI, que posee un respaldo empírico y validaciones más amplias. Finalmente, el test de Lectura de Mirada, aunque interesante desde la perspectiva de la Teoría de la Mente, se aleja del objetivo central de esta investigación al centrarse más en la interpretación de estados mentales que en la empatía emocional hacia situaciones sociales concretas.

- **Cuestionario de Empatía de Toronto (TEQ):**

Esta escala es de autoadministración y se compone de 16 afirmaciones a las que se debe responder con un número del 1 al 5, siendo 1 'nunca' y 5 'siempre'. El objetivo de esta escala es medir la capacidad empática general en el aspecto emocional. Ha ofrecido resultados congruentes.

- **Cociente Empático (Empathy Quotient):**

Es una escala especializada en el diagnóstico de autismo y asperger. Se compone de 40 ítems con afirmaciones positivas y negativas, además de 20 ítems de control destinados a no revelar o despistar el objetivo final del test. Existe también una versión abreviada de la escala con 22 ítems.

- **Test de Empatía Cognitiva y Afectiva (TECA):**

Es una de las primeras escalas desarrolladas por un autor español. Consta de 33 ítems y está dividida en cuatro subescalas: la adopción de perspectivas, la comprensión emocional, el estrés empático (sentimiento ante situaciones negativas ajenas) y la alegría empática (sentimiento ante situaciones positivas ajenas). Se obtienen puntuaciones diferenciadas para cada subescala y, posteriormente, una puntuación total del test. Está diseñada para población adulta.

- **(VES):**

Es una versión más breve de la escala anterior. Consta únicamente de dos subescalas: la capacidad de empatía (sympathy) y el malestar personal ante un estímulo determinado (personal distress). Suele arrojar dos tipos de resultados: en primer lugar, una reacción emocional vicaria y, en segundo lugar, una reacción emocional negativa. Se ha comprobado que existe una relación estrecha entre ambas subescalas.

- **Lectura de Mirada:**

Este test se adentra más en la Teoría de la Mente y por tanto es un análisis más profundo intentando dotar de un significado a las respuestas obtenidas. Este test busca medir la capacidad de comprender sentimientos y pensamientos de otros a través de la lectura de la mirada. Se compone de 36 fotografías y cuatro posibles opciones. Esto dota de una variedad de resultados, estrictamente ligados a factores como el nivel de lenguaje de la persona sobre este tema y la actuación o calidad de expresión de las personas fotografiadas. Se suelen obtener entre 22 y 30 aciertos; a partir de 30 se considera que se tiene una alta capacidad empática.

En conclusión, la combinación de la toma de perspectiva y la preocupación empática del IRI permite una aproximación integral y específica al fenómeno empático que se desea estudiar, permitiendo no solo cuantificar la capacidad empática de los sujetos, sino también explorar las diferencias de género en su expresión (véase en el anexo 2).

4. Recogida y Análisis de Datos

El periodo de recogida de datos fue desde el 13 de noviembre de 2025 hasta el 28 de noviembre de 2025. Se recogieron un total de 234 respuestas de las cuales 6 manifestaron que no deseaban que sus respuestas fueran incluidas en el estudio por lo que finalmente se analizaron 228. Para ver las preguntas y entender las secciones a continuación pueden consultar el cuestionario de creación propia de esta investigación. El cuestionario se encuentra en el anexo 3.

4.1. Datos Generales

De las 228 respuestas analizadas 124 fueron hombres, 102 mujeres y 1 persona señaló otro y 1 persona indicó que prefería no decirlo. En la distribución por cursos se obtuvieron un total de 174 respuestas de la etapa de Bachillerato y 54 respuestas de la etapa de Educación Secundaria.

Respecto a la formación en el ámbito de la Biología, 109 de los participantes indicaron que habían recibido 3 años o más de clases de Biología y 119 tenían una formación biológica de 2 años o menos. En relación a la formación en educación sexual 132 participantes indicaron haber recibido cursos específicos de Educación sexual y 96 no habían recibido ninguna formación previa sobre Educación sexual o que, aunque a pesar de no haber recibido, consideraban tener un nivel suficiente.

Ante la pregunta "¿con cuántas mujeres convives?" 117 contestaron con 1 o ninguna y 111 reportaron que vivían con dos o más mujeres.

4.2. Análisis Descriptivo

En este apartado se presentan las puntuaciones promedio obtenidas en los cuatro factores analizados:

- Percepción de conocimientos de biología del aparato reproductor masculino.
- Grado de conocimiento sobre la biología masculina.
- Empatía general hacía las mujeres.
- Nivel de reacción ante situaciones que afectan a las mujeres. Para una mejor comprensión de las puntuaciones obtenidas en las diferentes escalas los datos de todas ellas se han recalculado para que se distribuyan entre 1 y 5. Siendo un valor de 1 el nivel más bajo y un valor de 5 el nivel más alto.

4.2.1. Análisis Descriptivo General

Como puede verse en la Tabla 1, al analizar el conjunto de los datos de la muestra se observa que los valores de percepción del conocimiento biológico son bastante estables y se sitúan en torno a los 3 puntos con una diferencia de 0,3 puntos entre el valor más bajo y el valor más alto, lo que sugiere una baja dispersión de los datos de percepción del conocimiento. Aunque se realizará un análisis detallado posterior los datos parecen sugerir que el sexo, el curso, la convivencia con mujeres, la formación previa en educación sexual o el número de cursos de Biología estudiados no influyen significativamente en la percepción del conocimiento.

En la variable conocimientos sobre biología masculina se obtiene una puntuación para el conjunto de la muestra de 3,175 puntos. Sin embargo la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo llega a ser de 0,47 puntos. Esta diferencia se obtiene al tener en cuenta la variable "cursos de biología estudiados", por lo que puede existir una diferencia significativa en el conocimiento sobre la biología masculina debido a la formación recibida. Del mismo modo, se realizaron análisis de significancia para la variable "curso" que presenta una diferencia de 0,28 puntos entre la puntuación máxima y la mínima.

En la puntuación general de empatía general hacía la mujer se obtiene una puntuación media de 3,82 puntos. Este valor sugiere que de forma general existe una alta empatía hacía las mujeres en la muestra analizada. No obstante, si observamos las puntuaciones máximas y mínimas de las diferentes variables observamos una diferencia de 0,7 puntos al considerar la variable "sexo". Una diferencia de 0,29 al tener en cuenta la variable "curso" y una diferencia de 0,27 al tener en cuenta la variable "número de cursos de Biología estudiados". Estos datos sugieren que, si bien la puntuación promedio es alta, en todos los grupos parecen existir diferencias significativas a favor de las mujeres, a favor de los alumnos de bachillerato y a favor de los estudiantes que más años de biología han cursado.

Por último, en la puntuación de reacciones ante situaciones que afectan a las mujeres encontramos un valor promedio de 3,83, el más alto encontrado entre los cuatro factores analizados. En relación a las diferentes variables analizadas no se observan diferencias significativas en función del curso, la convivencia con mujeres, la formación previa en educación sexual o el número de cursos de Biología estudiados. La variable "sexo" por el contrario presenta una diferencia de 0,83 puntos a favor de las mujeres, lo que sugiere que la reacción ante las situaciones que afectan a las mujeres es significativamente diferente entre hombres y mujeres.

Las puntuaciones obtenidas en el conjunto de la muestra indican que la percepción de conocimientos y la prueba de conocimientos se encuentran ligeramente por encima del valor medio, y que los valores de empatía y reacción ante situaciones que afectan a las mujeres se sitúan en puntuaciones medio altas. Lo que indica que de forma general existe un buen nivel de empatía hacía las mujeres y una conciencia medio alta hacía las situaciones planteadas en la que la mayoría de los encuestados reaccionaron de forma activa o, si no lo hacen, se sienten incómodos y no comparten la situación planteada.

Dadas las posibles diferencias significativas que han aparecido en el análisis de los datos generales, a continuación se llevarán a cabo análisis descriptivos más detallados para la variable "sexo".

4.2.2. Análisis Descriptivo de los Participantes Según Sexo

En este apartado vamos a centrarnos en analizar las diferencias entre hombres y mujeres en las diferentes variables analizadas. Este análisis complementa el anterior y trata de añadir detalles a los posibles efectos significativos encontrados a favor de las mujeres en la puntuación de empatía y en la puntuación de reacciones ante situaciones que afectan a las mujeres, lo que permitirá completar el análisis de la muestra general y aportará detalles valiosos para la extracción de conclusiones.

Al analizar las respuestas por curso en función del sexo expresadas en la Tabla 2 vemos que existe una posible diferencia significativa entre la percepción del conocimiento sobre la biología masculina en mujeres de la ESO frente a otros grupos. Sin embargo, una vez analizados los conocimientos que realmente tienen las mujeres de la ESO, puntúan sin diferencias con los hombres de la ESO, lo que parece indicar una cierta cautela ante su propia percepción. Las diferencias en conocimientos parecen confirmarse tanto en hombres como en mujeres a favor de los alumnos de Bachillerato.

En el apartado de empatía general hacía la mujer la posible significatividad en la diferencia de hombres y mujeres parece que solo se da en Bachillerato siendo las puntuaciones de la ESO muy similares. Lo que sugiere un punto de inflexión en las mujeres en los valores de empatía general al pasar de la ESO a Bachillerato. En el caso de los hombres el valor se mantiene estable.

En el factor de reacciones ante situaciones que afectan a la mujer vemos como hay una posible diferencia significativa a favor de las mujeres tanto en la ESO como en Bachillerato. Sin embargo, llama la atención el empeoramiento de las reacciones ante las situaciones que afectan a las mujeres en los hombres de Bachillerato frente a las mujeres y frente a los hombres de la ESO.

En la Tabla 3 no parecen apreciarse diferencias significativas en ninguna de las dimensiones, más allá de las ya analizadas relativas al sexo en los factores de empatía hacía las mujeres y reacción ante situaciones que afectan a las mujeres. Lo que parece indicar que la convivencia con pocas o muchas mujeres no es un factor protector para el empeoramiento en la puntuación de reacción ante las situaciones encontrado en los hombres de Bachillerato.

En la Tabla 4 no parecen apreciarse diferencias significativas en ninguna de las dimensiones, más allá de las ya analizadas relativas al sexo en los factores de empatía hacía las mujeres y reacción ante situaciones que afectan a las mujeres. Lo que parece indicar que la formación en educación sexual no es un factor protector para el empeoramiento en la puntuación de reacción ante las situaciones encontradas en los hombres de Bachillerato.

En la Tabla 5 no parecen apreciarse diferencias significativas en ninguna de las dimensiones, más allá de las ya analizadas relativas al conocimiento y al sexo en los factores de empatía hacía las mujeres y reacción ante situaciones que afectan a las mujeres. Lo que parece indicar que el sexo no influye en las diferencias significativas detectadas en el conocimiento entre las personas que se han formado 3 o más años en Biología y las que no y la formación en Biología no es un factor protector para el empeoramiento en la puntuación de reacción ante las situaciones encontrado en los hombres de bachillerato.

En general, como se ha visto el análisis en detalle por sexo de las diferencias encontradas en la muestra total, no ha presentado nuevos datos o elementos significativos excepto en el comportamiento de la empatía en función del curso. En este caso se observa como no existen diferencias significativas entre hombres y mujeres en la ESO y que las diferencias encontradas entre hombres y mujeres pueden explicarse por una estabilidad en los valores de empatía de los hombres y por un aumento muy significativo en las puntuaciones de empatía de las mujeres.

4.2.3. Análisis de Significatividad

Toda la muestra:

La variable sexo presenta diferencias significativas en la reacción ante situaciones hacía la mujer ($p<0,00$) y en empatía ($p<0,00$). Según la prueba t de Student. Presentando las mujeres unas puntuaciones significativamente mejores que los hombres.

El hecho de ser mujer hace que se reaccione mejor y se sea más empática hacía otras mujeres.

La variable "curso escolar" presenta diferencias significativas entre los alumnos de la ESO y los alumnos de Bachillerato en conocimientos biológicos ($p<0,06$) y en empatía ($p<0,00$), presentando los alumnos de Bachillerato un conocimiento y una empatía significativamente mayores que los alumnos de la ESO.

La edad a partir de los 16 presenta mejores puntuaciones en conocimientos, como es lógico, y una mayor empatía.

Las variables de convivencia con mujeres y educación sexual no presentan diferencias significativas.

La variable de estudios del área de Biología presenta diferencias significativas en conocimientos ($p<0,00$) y empatía ($p<0,004$). Los estudiantes con 3 o más años de formación en Biología puntúan significativamente mejor en conocimientos, como es lógico, y en empatía hacía la mujer.

El grupo con mejores puntuaciones en empatía es el de mujeres de Bachillerato con 3 o más años de estudios de Biología.

Muestra de hombres:

La variable "curso" presenta diferencias significativas ante las reacciones a las situaciones ($p<0,002$), reaccionando significativamente mejor los alumnos de la ESO que los alumnos de Bachillerato.

La variable "número de años de Biología estudiados" presenta diferencias significativas ($p< 0,00$). Se ha encontrado que los estudiantes que han cursado 3 o más años puntúan significativamente mejor en conocimientos.

Muestra de mujeres:

La variable "curso" presenta diferencias significativas en empatía ($p<0,00$), puntuando significativamente más alto las estudiantes de Bachillerato que las estudiantes de la ESO. Este dato parece indicar la importancia significativa de la edad en el desarrollo de la empatía.

La variable "número de años de Biología estudiados" presenta diferencias significativas en conocimientos ($p< 0,02$) y en empatía ($p<0,00$). Se ha encontrado que las estudiantes que han cursado 3 o más años puntúan significativamente mejor en conocimientos y en empatía.

4.2.4. Análisis Correlacional entre las Dimensiones Estudiadas

En este apartado se observa, en la Tabla 6, una correlación alta entre la empatía y las reacciones ante las situaciones. Se observa una correlación baja entre conocimientos biológicos y empatía. Se observa una correlación baja entre conocimientos biológicos y la percepción del conocimiento.

No hay correlación o es muy baja entre conocimientos biológicos y reacción ante situaciones, empatía y percepción de conocimientos y percepción de conocimientos y reacción ante situaciones.

Se observa en la Tabla 7 una correlación moderada entre la empatía y las reacciones ante las situaciones. No observada en mujeres. Se observa una correlación baja entre conocimientos biológicos y empatía. Se observa una correlación baja entre conocimientos biológicos y percepción del conocimiento. Se observa una percepción baja entre percepción de conocimientos y empatía. No hay correlación o es muy baja entre conocimientos biológicos y reacciones ante situaciones.

En la Tabla 8 se observa una correlación baja entre conocimientos biológicos y empatía. No hay correlación o es muy baja entre el resto de factores.

4.3. Análisis Cualitativo de la Pregunta Abierta

El instrumento de evaluación contenía una pregunta abierta al final del cuestionario para recoger la opinión de los participantes. De 229 respuestas solo 34 personas dejaron un comentario analizable.

A continuación se presenta un análisis en tres bloques.

4.3.1 Comentarios Positivos hacía el Estudio

De los 34 comentarios 9 de ellos fueron positivos. 3 fueron hechos por mujeres y 6 por hombres.

- "Creo que es un estudio interesante que espero que pueda tener valor además de como proyecto académico como estudio también. Además, es un tema actual y preocupante. Muchas gracias." (Mujer de Bachillerato)
- "Es un cuestionario muy interesante y me parece bastante importante teniendo en cuenta como están las cosas hoy en día." (Mujer de Bachillerato) - "Está muy bien hecho el cuestionario." (Mujer de Bachillerato) - "Creo que estaría bien que nos dieran más cosas como estas en el insti." (Hombre de ESO)
- "Ha sido un placer participar en estas preguntas." (hombre de ESO) - "Me parece que este tipo de test deberían de ser mucho más frecuentes en colegios o institutos, sobre todo dirigido a adolescentes tempranos o pre adolescentes." (Hombre de Bachillerato)
- "Un cuestionario muy interesante que puede ayudar a las personas a cambiar su manera de pensar hacia determinados temas mencionados aquí." (Hombre de Bachillerato)
- "En este test he aprendido más de las mujeres que lo que me han enseñado 👍." (Hombre de bachillerato)
- "Muchas gracias." (Hombre de la ESO)

4.3.2. Comentarios Neutros o de Crítica Constructiva

De los 34 comentarios 10 pueden calificarse como neutros o con comentarios críticos constructivos hacia el cuestionario. 9 de ellos son realizados por hombres y 1 por una mujer.

- "Me ha parecido un poco beneficioso hacia la mujer." (Hombre de Bachillerato)
- "Me parece importante respetar a las mujeres, aun así en mi opinión hay veces que se exageran las situaciones que se supone que pueden incomodar a las mujeres." (Hombre de Bachillerato)
- "Algunas respuestas son demasiado explícitas, como que o eres un machista o defiendes 100% los derechos de las mujeres, en mi opinión debería de haber un comentario más neutro en el último apartado, como decir que es una barbaridad, por que en mi caso es lo que suelo hacer, no poner que es un estereotipo, espero que mi respuesta sirva." (Hombre de Bachillerato)
- "Está muy interesante el tema en cuestión, pero no hubiese enfatizado tanto en las conductas de los hombres hacia las mujeres, sino la educación que se nos da para que no se den en el futuro no muy lejano. Por lo que a mi respecta, el trabajo está muy logrado." (Hombre de la ESO)
- "Me ha encantado esto me parecía muy original aunque ha habido chicas que tenían que hacerlo así que lo modificaría un poquito." (Hombre de la ESO) - "Respecto a las preguntas sobre las mujeres, no siento una empatía mayor hacia ellas que la que tendría hacia un hombre en un tema que afecte a ambos, sí en un tema que sea exclusivo de su género como estereotipos, opresión,... Ademas creo q muchas respuestas deberían ser opcionales en este apartado porque en mi vida he estado en muchas de esas situaciones ya sea porque soy gay o porque me muevo en entornos de personas diferentes." (Hombre de Bachillerato)
- "Buen estudio, pero la mayoría de preguntas o comentarios, se suelen decir en tono jocoso sin ningún fan de ofender a la mujer, por eso mi respuesta varía depende del contexto." (Hombre de Bachillerato)
- "Debería haber preguntas para chicas." (Hombre de ESO)
- "Me parece importante empatizar en todo momento, no dejo preferencias de mejor trato a ningún género, si tomo la decisión de callar lo hago por conveniencia y evitarme problemas, al fin y al cabo comentarios en público de tipo descalificativos serán castigados por el público en conjunto ya que pienso y espero que la mayoría tenga un buen sentido común." (Hombre de Bachillerato)
- "No había preguntas para las chicas." (mujer de la ESO)

4.3.3.Comentarios Negativos hacia el Estudio

De los 34 comentarios se recogen 17 comentarios negativos o con alusiones a política o a ataques a la mujer. 15 de ellos fueron hechos por hombres.

- "Pedro Sánchez dimisión. España libre." (Hombre de Bachillerato) - "Viva Franco. Mujeres a casa" (Hombre de Bachillerato)
- "Soy una persona Tradicional. El ataque al tradicionalismo es lo que ha convertido a las mujeres de hoy en día en un grupo sectario, que intenta a violentar contra los hombres. solo veis conflictos e "injusticias" inven-

tadas cuando la realidad es que gozais de muchos más derechos legales ante los hombres. A la falta de problemas se inventan. creo que deberías de tener un poco de visión y pensar que igual esto de la violencia de género no existe. que agarrar penes en los platós de televisión y sexualizar también se hace por parte de las mujeres. Estoy harto de que todo sea división. no entienden que quieren que estemos divididos para controlarnos?? No haces lo que quieres. es una mentira. sientes libertad pero estas haciendo lo que te obligan a hacer. no hay pensamiento crítico. mas os vale pillar ya la verdad de las cosas e intentar unificar al pueblo que juntos somos mas fuertes. la España unida jamás será vencida. no necesitamos ni izquierdas ni derechas. necesitamos el yugo y las flechas . ARRIBA ESPAÑA." (Hombre de Bachillerato)

- "Sánchez dimisión." (hombre de ESO)
- "Viva España." (hombre de ESO)
- "Viva Vox." (Hombre de ESO)
- "Un poco demasiado feminista." (Hombre de Bachillerato)
- "Me parece importante respetar a las mujeres, aun así en mi opinión hay veces que se exageran las situaciones que se supone que pueden incomodarlas." (Hombre de Bachillerato)
- "Mujer al volante peligro constante." (Hombre de Bachillerato)
- "Opino que este formulario es demasiado ideológico e inclinado claramente hacia una parte de la sociedad, yendo en contra de la otra y criminalizando/exagerando/minimizando." (Hombre de Bachillerato)
- "En mi opinión, este comentario esta creado por una feminista que solo busca la atención de los demás." (Hombre de Bachillerato)
- "Con esta encuesta dejáis a los hombres como basura, hay situaciones q son mutuas de ambos géneros." (Hombre de Bachillerato)
- "Es cierto que me rio del humor machista(en circulos de mucha confianza,no si hay gente desconocida delante) pero no me considero machista.Todas las personas tienen los mismos derechos y capacidad de elecciones, pero si que es cierto que depende de la situacion puedo parecer o no.Pero me gusta el humor negro, al igual que puedo bromear con cosas racistas(en privado por supuesto) pero OBVIAMENTE no soy machista.Jaja saludos." (Hombre de ESO)
- "Esta encuesta me pone mucho principalmente cuando habla sobre mujeres." (Hombre de ESO)
- "Este cuestionario no es adecuado para adolescentes de esta edad, me incomoda responder esto me ofende mucho. Espero no volver a hacerlo, porque ciertas preguntas como la de la erección me incomodan. En otras palabras me baja el ánimo, aun así espero que mis opiniones le hayan servido de ayuda para saber sobre mi orientación sexual . Soy heterosexual y las demas preguntas da igual lo que haya puesto porque me sentia incomodo. Gracias por hacerme caso." (Hombre de ESO)
- "La mayoría de los hombres son tontos." (Mujer de Bachillerato) - "Si nuestro profe lo hubiera visto antes no nos lo hubiera puesto." (Mujer de ESO)

4.4 Limitaciones del Estudio

En este apartado se pondrá en consideración algunas limitaciones que se encontraron en la recogida de datos:

Gran diferencia de muestra entre los participantes de la ESO y de Bachillerato. Falta de opción de "no lo sé" en la sección de conocimientos biológicos. Esto pudo haber provocado que algunas de las respuestas hayan sido acertadas por el azar.

Corto periodo de recogida de datos. Si bien la muestra es significativa, con un periodo de datos más largo ciertos grupos muestrales podrían haber sido mayores y haber aportado diferencias de información al estudio.

Recogida de datos de una única comunidad autónoma. Estos datos fueron recogidos principalmente en la Comunidad de Madrid, donde se realizó el estudio en centros como el IES Guadarrama, los GSD de Guadarrama, el Escorial y la Rozas, el Colegio San Agustín, el Colegio Fundación Caldeiro, Greenwich School, el IES Alonso de Avellaneda y el Colegio Diocesano Pablo VI, entre otros. Por lo que podría existir una diferencia de resultados entre otras comunidades o países. El instrumento de recogida incluye unas secciones validadas, como la empatía general hacia la mujer y el conocimiento biológico. El resto de secciones son de creación propia y no han sido validadas como instrumento. Lo que puede suponer una falta de fiabilidad de los datos.

5. Conclusiones

A la luz de los resultados obtenidos y tras el análisis estadístico y cualitativo de los datos, se exponen a continuación las conclusiones del estudio, estructuradas para dar respuesta a los objetivos planteados y verificar las hipótesis de partida.

5.1. Verificación de las Hipótesis del Estudio

El análisis de los datos permite dar una respuesta a las dos hipótesis planteadas al inicio de la investigación:

- **Sobre la Hipótesis 1:** "*Existe una correlación directa y positiva entre el grado de conocimiento que los adolescentes de sexo masculino poseen sobre su propia pubertad y sistema reproductor, y el nivel de empatía que manifiestan hacia el sexo femenino*."

Conclusión: Esta hipótesis se confirma de forma débil.

Evidencia: Los datos demuestran que, en el grupo de hombres, el aumento de conocimientos biológicos no se traduce en una mayor empatía ni en una mejor reacción conductual. El análisis correlacional de Pearson para la muestra masculina arroja una vinculación baja (r=0.26) entre tener conocimientos y la puntuación en empatía hacía la mujer. Por otro lado, se aprecia una correlación prácticamente nula (r=0,007) entre tener conocimientos y reaccionar positivamente ante situaciones de abuso. A diferencia de las mujeres, donde el conocimiento se correlaciona con la empatía en mayor medida (r=0,36), en los varones saber más de anatomía se correlaciona en menor grado y no implica mayor sensibilización social.

Esto podría indicar que el conocimiento biológico del sexo masculino, es un factor que influye levemente en la empatía. Los cambios en las puntuaciones de empatía varían debido a otros factores no estudiados en profundidad en esta investigación, como el género, la educación (no la educación sexual, como se ha comprobado), la cultura, entre otras.

- **Sobre la Hipótesis 2:** "*Existe una correlación directa y positiva entre el grado de empatía y la reacción ante situaciones que afectan a las mujeres*."

Conclusión: Esta hipótesis se confirma.

Evidencia: Se ha hallado una correlación fuerte y positiva en el conjunto de la muestra (r=0.64) y moderada-alta en el grupo de hombres (r=0.52). Esto valida la coherencia interna del estudio: aquellos alumnos que desarrollan una mayor capacidad empática son, efectivamente, quienes muestran una disposición conductual más activa y ética ante situaciones de discriminación.

5.2. Polarización de Género y el "Efecto Bachillerato"

Más allá de las hipótesis, el estudio revela una divergencia crítica en la evolución de los adolescentes:

- Evolución Femenina: Las mujeres experimentan un aumento significativo de la empatía al pasar de la ESO a Bachillerato ($p<0.00$), lo que sugiere una maduración y toma de conciencia de género efectiva.
- Involución Masculina: Los hombres no presentan diferencias significativas en las puntuaciones de empatía al pasar de la ESO al Bachillerato, pero presentan puntuaciones de reacción ante situaciones significativamente peores ($p<0.002$) que los alumnos de la ESO. Lejos de mejorar con la edad y el nivel educativo, se observa un retroceso y una resistencia activa, evidenciada en algunos de los comentarios cualitativos cargados de ideología política y negacionismo de las diferencias en las situaciones de género.

5.3. Ineficacia del Modelo de educación Sexual.

La refutación de la primera hipótesis pone en juicio el enfoque actual de los talleres de educación sexual. La educación sexual centrada exclusivamente en la reproducción y la anatomía falla al no abordar las dimensiones emocionales, éticas y de género, que son las que realmente predicen una mejor conducta (como demuestra la confirmación de la segunda hipótesis).

5.4. Autopercepción y Brecha de Confianza

Se detecta un fenómeno psicosocial relevante: las alumnas de la ESO presentan la autopercepción de conocimientos más baja de la muestra (2.6), a pesar de que sus conocimientos reales son equiparables a los de sus compañeros varones. Este dato podría sugerir una inseguridad inicial o infravaloración de capacidades en las adolescentes más jóvenes que tiende a corregirse en la etapa de Bachillerato.

5.5. Síntesis Final

En conclusión, este estudio demuestra que para mejorar la reacción de los adolescentes ante situaciones de desigualdad (Hipótesis 2), es necesario fomentar la empatía. Sin

embargo, la vía actual de intentar lograrlo a través del mero incremento de conocimientos biológicos (Hipótesis 1) es poco eficaz en la población masculina.

Los resultados señalan la necesidad de una intervención educativa que trascienda lo anatómico y aborde la educación emocional y la perspectiva de género para contrarrestar la polarización ideológica y la reactancia detectada en los varones de Bachillerato.

6. Próximas Líneas de Investigación

Como próximas líneas de investigación, este trabajo propone lo siguiente:

Realizar un estudio para establecer una correlación entre el grado de conocimiento de las mujeres sobre su propio aparato reproductor y pubertad y su empatía hacia las situaciones de los hombres.

Llevar a cabo un análisis de la educación sexual recibida en la Comunidad de Madrid y su relación con las situaciones de género.

Investigar el impacto del pensamiento político y cómo afecta esto a las situaciones de género.

Diseñar y poner en práctica un taller de información biológica y de educación sexual y estudiar sus efectos en las variables de esta investigación.

7. Referencias bibliográficas

- Amado, J. A., & Flórez, J. (2003). Hormonas sexuales: estrógenos, gestágenos, andrógenos y anticonceptivos hormonales. Farmacologia humana, 887-911. Álvarez Cabrera, P., Carrasco Gutiérrez, M., & Fustos Mutis, J. (2010). Relación de la empatía y género en la conducta prosocial y agresiva, en adolescentes de distintos tipo de establecimientos educacionales. Revista Iberoamericana de Psicología: Ciencia y Tecnología, 3(2), 27-36.
- Apoteca Natura. (s. f.). ¿Qué es la secreción prostática? Recuperado de https://www.apotecanatura.es/explora-salud/prostata/que-es-la-secrecion-prost atica/
- Aranda-Gutierrez, A., & Díaz-Pérez, H. M. (2023). Histology, Mammary Glands. En StatPearls. StatPearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK547732/
- Aula de Anatomía. (s. f.). Glándula bulbouretral. Recuperado el 30 de noviembre de 2025. https://www.auladeanatomia.com/es/sistemas/407/glandula-bulbouretral Avila, G. A. C., Herrera-Covarrubias, D., & Pfaus, J. G. (2023). Conducta sexual. Batson, C. D., & Moran, T. (1999). Empathy-induced altruism in a prisoner's dilemma. European Journal of Social Psychology, 29(7), 909–924. Beauvoir, S. (2005). El segundo sexo (J. Cortés, Trad.). Cátedra. (Obra original publicada en 1949)
- Biología y Geología. (2025). Aparato reproductor. Aparato reproductor femenino. Ciclo menstrual. Recuperado el 30 de noviembre de 2025. https://biologia-geologia.com/anatomia/71_aparato_reproductor.html
- Bisquerra Alzina, R. (2003). Educación emocional y competencias básicas para la vida. (Monografía).
- Biswas, S. K., Banerjee, S., Baker, G. W., Kuo, C.-Y., & Chowdhury, I. (2022). The mammary gland: Basic structure and molecular signaling during development. International Journal of Molecular Sciences, 23(7), 3883. https://doi.org/10.3390/ijms23073883
- Blakemore, S. J., y Mills, K. L. (2014). Is adolescence a sensitive period for sociocultural processing?. Annual review of psychology, 65(1), 187-207. Brizendine, L. (2007). El cerebro femenino. RBA Libros.
- Brizendine, L. (2010). El cerebro masculino. RBA Libros.
- Butler, J. (2007). El género en disputa: El feminismo y la subversión de la identidad. Paidós.
- Calderón, K. A. (2012). Empatía y clima familiar en niños y niñas costarricenses de edad escolar. Revista Electrónica" Actualidades Investigativas en Educación", 12(3), 1-27.
- Calvo, A., et al. (2001). Empatía situacional y conducta prosocial. Camara Pirez, M., Steele, H., Reese, S. et al. (2020). Bovine sperm-oviduct interactions are characterized by specific sperm behaviour, ultrastructure and tubal reactions which are impacted by sex sorting. Scientific Reports, 10, 16522. https://doi.org/10.1038/s41598-020-73592-1
- Carlo, G., & Randall, B. A. (2002). The development of a measure of prosocial behaviors for late adolescents. Journal of Youth and Adolescence, 31(1), 31–44.
- Carlo, G., Hausmann, A., Christiansen, S., & Randall, B. A. (2003). Sociocognitive and behavioral correlates of a measure of prosocial tendencies for adolescents. Journal of Early Adolescence, 23(1), 107–134.
- Carlo, G., Mestre, M. V., Samper, P., Tur, A., & Armenta, B. E. (2010). Moral cognitions and emotions as predictors of prosocial behavior. Personality and Individual Differences, 48(8), 872–877.
- Casey, B. J., Jones, R. M., & Somerville, L. H. (2011). Braking and accelerating of the adolescent brain. Journal of research on adolescence, 21(1), 21-33. Castillo Cañadas, A.M. (2011). Documento de seminario Obstetricia / Ginecología (2 de noviembre de 2011) [PDF]. Recuperado el 30 de noviembre de 2025. https://www.chospab.es/area_medica/obstetriciaginecologia/docencia/seminari os/2011-2012/sesion20111102_1.pdf

- Chakrabarti, B., & Baron-Cohen, S. (2006). Empathizing: Neurocognitive developmental mechanisms and individual differences. En Progress in Brain Research (Vol. 156, pp. 403–417). Elsevier.
- Cigna. (s. f.). Riego sanguíneo al pene durante una erección. Andrógenos. Recuperado el 1 de abril de 2025. https://www.cigna.com/es-us/knowledge-center/hw/riego-sanguneo-al-pene-dur ante-una-ereccin-tp10878
- Clement, P., Bernabe, J., Gengo, P., Denys, P., & Giuliano, F. (2016). Physiology and pharmacology of ejaculation. Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology, 119(S3), 18–25. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26709195/
- Cleveland Clinic. (2025). Breast anatomy: Milk ducts, tissue, conditions & physiology. Corpus cavernosum: Anatomy & Function. Seminal vesicle. Recuperado el 30 de Noviembre de 2025. https://my.clevelandclinic.org/health/articles/8330-breast-anatomy
- Clínica Universidad de Navarra (CUN). (s. f.). Vesícula seminal. Vasopresina. Sulfato de dehidroepiandrosterona (DHEA). Diccionario médico. Recuperado el 30 de Noviembre de 2025. https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/ Connell, R. W. (2015). Masculinidades. PUEG-UNAM.
- Davis, M. H. (1980). A multidimensional approach to individual differences in empathy. JSAS Catalog of Selected Documents in Psychology, 10, 85. Eisenberg, N., & Fabes, R. A. (1991). Prosocial development. En M. S. Clark (Ed.), Review of Personality and Social Psychology (Vol. 12, pp. 34–61). Sage. Eisenberg, N., & Strayer, J. (Eds.). (1987). Empathy and its development. Cambridge University Press.
- Eisenberg, N., Cumberland, A., Guthrie, I. K., Murphy, B. C., & Shepard, S. A. (2005). Age changes in prosocial responding and moral reasoning. Journal of Research on Adolescence, 15(3), 235–260.
- Eisenberg, N., Fabes, R. A., & Spinrad, T. L. (2006). Prosocial development. En N. Eisenberg (Ed.), Handbook of Child Psychology (6.ª ed., Vol. 3). Wiley.
- Eisenberg, N., Zhou, Q., & Koller, S. (2001). Brazilian children's prosocial moral judgment and behavior. Child Development, 72(2), 518–534.
- Estrada, C. (1995). Empatía disposicional y conducta prosocial en adolescentes. Fausto-Sterling, A. (2000). Sexing the Body: Gender Politics and the Construction of Sexuality. New York: Basic Books.
- Fausto-Sterling, A. (2021). Cuerpos sexuados: La política de género y la construcción de la sexualidad. Virus.
- Fernández-Pinto, I., López-Pérez, B., & Márquez, M. (2008). Empatía: dimensiones y evaluación. Anales de Psicología, 24(2), 284–298.
- Galvis, C. (s. f.). Próstata: funciones y estructura. Recuperado el 30 de noviembre de 2025. https://www.doctorgalvis.com/post/prostata
- Garaigordobil, M., & García de Galdeano, P. (2006). Empatía disposicional y prosocialidad en la adolescencia. Psicothema, 18(2), 180–186.
- García Pérez, R., et al. (2010). Actitudes hacia la igualdad de género en alumnado de secundaria.
- García Pérez, R., Rebollo Catalán, M. A., Buzón García, O., González-Piñal Pacheco, R., Barragán Sánchez, R., & Ruíz Pinto, E. (2010). Actitudes del alumnado hacia la igualdad de género. Revista de Investigación Educativa, 28(1), 217–232.
- Gutiérrez, M., Escartí, A., & Pascual, C. (2011). Empatía, valores y prosocialidad en adolescentes.
- Hansen, J. T. (2019). Netter cuaderno de anatomía para colorear (3.ª ed.). Elsevier. Holstein, A. F., Schulze, W., & Davidoff, M. (2003). Understanding spermatogenesis is a prerequisite for treatment. Reproductive Biology and Endocrinology, 1(1), 107. https://doi.org/10.1186/1477-7827-1-107
- Hyams, E. S., Kramer, S. A., & McCarthy, J. D. (2001). Normal human ejaculatory duct anatomy: A study of cadaveric and surgical specimens. The Journal of Urology, 165(3), 868–871. https://doi.org/10.1016/S0022-5347(01)66150-0
- Kenhub. Testes (2025). Anatomy, definition and diagram. Penis: Anatomy, function, erection, ejaculation. Urethral sphincters… Recuperado el 30 de noviembre de 2025. https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/the-testes
- Khan, Y. S., Fakoya, A. O., & Sajjad, H. (2025). Anatomy, Thorax: Mammary Gland. En StatPearls. StatPearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK547666/
- Kruger, J., & Dunning, D. (1999). Unskilled and unaware of it… Journal of Personality and Social Psychology, 77(6), 1121–1134.
- Lerner, G. (1990). La creación del patriarcado. Crítica.
- Lerner y L. Steinberg (Eds.), Handbook of adolescent psychology (2nd ed., pp. 15–44). John Wiley & Sons, Inc.
- Litvack, A., McDougall, D., & Romney, D. M. (1997). Contextual and dispositional empathy. Genetic, Social, and General Psychology Monographs, 123(3), 303–324.
- López-Martínez, P., & Sánchez-Rodríguez, R. (2019). Actitudes del alumnado hacia la igualdad de género.
- López-Pérez, B., & Ambrona, T. (2015). Empathy and prosocial behavior as a function of the target's gender.
- López-Pérez, B., & Ambrona, T. (2015). Gender of target modulates the relation between empathy and social behaviors. Motivation and Emotion, 39(4), 514–525. https://doi.org/10.1007/s11031-015-9471-4

- López-Pérez, B., & Fernández-Pinto, I. (2010). Diferencias de edad en empatía: Desde la adolescencia hasta la tercera edad. Ansiedad y estrés, 16. Manual MSD. (s. f.). Criptorquidia. Estructura del aparato reproductor masculino. MSD Manuals - Professional Edition.
- Maroto, M., Torvisco, S. N., García-Merino, C., Fernández-González, R., & Pericuesta, E. (2025). Mechanisms... Biomolecules, 15(4), 500. https://doi.org/10.3390/biom15040500
- Mathey, L. I. P., Denes, J. M., Goffin, V., Kessal, K., Aranda-Abreu, G. E., Estudillo, C. A., & Aguilar, M. H. (2009). Prolactina: mecanismos intracelulares involucrados en la función prostática. Rev Med UV.
- MedlinePlus. (2025). Penis. Recorrido del semen. Prueba de la hormona antimulleriana Biblioteca Nacional de Medicina.
- Merck Manuals. (s. f.). Estructura del aparato reproductor masculino. Mestre, M. V., Frías, M. D., Samper, P., & Tur, A. (2004). Empatía y prosocialidad en la adolescencia. Acción Psicológica, 3(2), 31–44.
- Mestre, M. V., Tur, A., Samper, P., Nácher, M.-J., & Cortés, M.-T. (2007). Estilos de crianza y comportamiento prosocial. Revista Latinoamericana de Psicología, 39(2), 211–225.
- Mondragón-Ceballos, R., Barrios-De Tomasi, J., & Hernández-López, L. E. (2023). Oxytocin and vasopressin: sexual differences and clinical implications. Revista Medica del Instituto Mexicano del Seguro Social, 61(2), 196-203.
- Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. R. (2018). Anatomía con orientación clínica (8.ª ed.). Wolters Kluwer.
- Olivera, J., Braun, M., & Roussos, A. J. (2011). Instrumentos para la evaluación de la empatía en psicoterapia. Revista Argentina de Clínica Psicológica, 20(2), 121–132.
- Parrondo, P., Pérez-Medina, T., & Álvarez-Heros, J. (2009). Anatomía del aparato genital femenino. Fundamentos de obstetricia (SEGO).
- Pérez-Albéniz, A., De Paúl, J., Etxeberría, J., Montes, M. P., & Torres, E. (2003). Adaptación de Interpersonal Reactivity Index (IRI) al español. Psicothema, 15(2), 267–272.
- Praderio, R. G., Stornelli, M. A., & de la Sota, R. L. (2016). Anatomía del aparato genital femenino. UNLP.
- Real Academia Española. (2025). Comprensión. Diccionario de la lengua española. Real Academia Española. (2025). Conocimiento. Diccionario de la lengua española. Rebollo Catalán, M. Á., García Pérez, R., Piedra, J., & Vega, L. (2011). Diagnóstico
- de la cultura de género... Revista de Educación, (355), 521-546. Robaire, B., & Hinton, B. T. (2021). The epididymis. En A. J. Zeleznik (Ed.), Knobil and Neill's Physiology of Reproduction.
- Rodríguez, M., & Díaz, R. (2001). Estudio morfológico de la glándula bulbouretral. International Journal of Morphology, 19(2), 139–144.
- Rubin, G. (1986). El tráfico de mujeres... Nueva Antropología, 8(30). Rubin, G. (1986). El tráfico de mujeres… Nueva Antropología, 8(30), 95–145. Sánchez Amador, S. A. (2025). Espermatogénesis: qué es y cuáles son sus fases. Psicología y Mente.
- Sánchez-Queija, I., Oliva, A., & Parra, A. (2006). Empatía y conducta prosocial durante la adolescencia. Revista de Psicología Social, 21(3), 259–271. Sanitas. (2025). Aparato genital femenino. Biblioteca de Salud.
- Schlegel, P. N. (2022). Human Spermatogenesis... Frontiers in Endocrinology, 13, 889959.
- ScienceDirect. (s. f.). Testis - function overview.
- Scott, J. W. (2008). Género e historia. FCE / UACM.
- Serrano, C., & Oliva, A. (2016). Educación emocional y desarrollo socioafectivo. Steinberg, L. (2014). Age of opportunity: Lessons from the new science of adolescence. Houghton Mifflin Harcourt.
- Stephan, W. G., & Finlay, K. (1999). The role of empathy in improving intergroup relations. Journal of Social Issues, 55(4), 729–743.
- Stoddard, N. (2023). Histology, Male Urethra. StatPearls.
- Strayer, J., & Roberts, W. (2004). Children's anger… Social Development, 13(2), 229-254.
- Suede, S. H., Malik, A., & Sapra, A. (2025). Histology, Spermatogenesis. StatPearls. Susman, E. J., y Rogol, A. (2004). Puberty and psychological development. En R. M. Lerner & L. Steinberg (Eds.), Handbook of adolescent psychology (2nd ed., pp. 15–44). John Wiley & Sons, Inc.
- TeachMe Anatomy. (2025). The breasts – Structure.
- Temboury Molina, M. C. (2009). Desarrollo puberal normal. Pubertad precoz [PDF]. Tur-Porcar, A., Mestre, V., Samper, P., & Malonda, E. (2016). Empatía en la adolescencia... Behavioral Psychology, 24(2), 345–359.
- West, C., y Zimmerman, D. H. (1987). Haciendo género. Gender & Society, 1(2), 125–151.
- Zohar, A., & Barzilai, S. (2013). Metacognition... Journal of Science Education and Technology, 22(6), 921–937.

8 Tablas

https://docs.google.com/document/d/137OntEXSxgZw5NiR7JAh1PvWcV1-fp4u2oJgJ26vFVI/edit?usp=sharinghttps://docs.google.com/document/d/1UB06U9Qw3VxyVDLXpnjFezBuQzWufOmoAt8LwLLR-Ic/edit?usp=sharing

9 Anexos

Anexo 1

https://docs.google.com/document/d/1UB06U9Qw3VxyVDLXpnjFezBuQzWufOmoAt8LwLLR-Ic/edit?usp=sharing

Anexo 2

https://docs.google.com/document/d/1vP011jkmvWO0S-wc5aB6RZqn8ntfaw-LSVxGVQUi9AE/edit?usp=sharing

Anexo 3

https://docs.google.com/document/d/1C4s5u4eumlQ9LXP0j_pL6fKADUKrdnJpYT5ymgnFigk/edit?usp=sharing

La Salud del Perro:

El Alimento Canino bajo el Microscopio y otros Indicadores de Bienestar

Emily Williams Martín

Tutoras: Jessica Gil Serna

Paola García Martínez

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a Jessica Gil Serna, por aceptar ser mi tutora y haber dedicado su tiempo y atención a mi trabajo, y junto con ella a Belén y a todos del Lab 7 por resolver mis dudas y permitir dar luz a este trabajo.

A Paola García Martínez por orientarme y ofrecer sugerencias e ideas innovadoras.

A los veterinarios José Manuel e Inés, por ayudarme a dar forma al estudio y escuchar mis dudas.

Al IES Guadarrama, por brindarme esta oportunidad tan maravillosa, y a mis compañeros y profesores por marcar una etapa tan importante en mi vida.

A todas las mascotas que he tenido, Comanche, Spike y Jamila, que me han inspirado para explorar el mundo canino.

A mis padres por haberme abierto las puertas al mundo de la ciencia y mis hermanos por su apoyo y cariño.

Quiero dedicar un especial agradecimiento a mi madre por ser una figura de apoyo fundamental a lo largo de todo el proceso, sin la cual este proyecto no hubiera sido posible. Gracias por escucharme siempre con paciencia y ayudarme a superar obstáculos.

A mis amigas, por su apoyo, sus consejos y por estar a mi lado en lo bueno y lo malo.

A Noelia Lara por la inspiración que proporciona siendo de las personas más fuertes que conozco, y a toda su familia.

A Carlota, siempre en mi memoria. Gracias por formar parte de mi vida.

ÍNDICE

RESUMEN / ABSTRACT.....484
1. INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO.....484
1.1 Canis lupus familiaris.....484
1.2 Alimentación canina.....485
1.2.1 Pienso seco.....485
1.2.2 Comida húmeda.....486
1.2.3 Dieta cruda.....486
1.3 Indicadores microbianos de contaminación alimentaria.....487
1.3.1 Bacterias aerobias totales.....487
1.3.2 Enterobacterias.....487
1.3.3 Clostridium spp.....487
1.3.4 Salmonella-Shigella.....488
1.3.5 Listeria monocytogenes.....488
1.3.6 Hongos filamentosos y levaduras.....488
1.4 Bienestar animal.....489
2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....489
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....490
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....490
4.1. Análisis microbiológico de las muestras.....490
4.1.1 Medios de cultivo.....490
4.1.2 Selección y procesamiento inicial de las muestras.....492
4.1.3 Bancos de diluciones y siembra en superficie en placa.....492
4.1.4 Aislamiento de colonias bacterianas por agotamiento de asa en placa.....493
4.1.5 Tinción diferencial de Gram.....493
4.1.6 Identificación de aislados bacterianos mediante secuenciación del gen del ADN ribosómico.....494
4.2. Diseño del cuestionario “El bienestar del perro”.....495
4.3 Análisis estadísticos.....496
5. RESULTADOS.....496
5.1 Análisis microbiológico de las muestras.....496
5.1.1 Determinación cuantitativa de microorganismos.....497
5.1.2 Análisis cualitativo de Salmonella-Shigella spp.y Listeria monocytogenes.....499
5.2 Análisis del cuestionario.....500
5.2.1 Descriptiva poblacional.....501
5.2.2 Descriptiva cualitativa.....501
5.2.3 Análisis estadístico multivariante.....502
6. DISCUSIÓN.....504
7. LIMITACIONES Y MÁRGENES DE ERROR.....507
8. CONCLUSIONES.....508
9. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....508
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....508
11. ANEXOS.....509

RESUMEN

La visión actual de un marco común para la salud animal y humana *(One Health)* enfatiza la necesidad de investigaciones que aborden la seguridad microbiológica de los alimentos caninos y su repercusión en la transmisión de enfermedades zoonóticas a humanos. En este estudio, pionero en España, se llevó a cabo un análisis microbiológico de 15 muestras de tres tipos de alimento canino. Se utilizaron técnicas estándar de aislamiento y recuento microbiano, tinciones diferenciales y secuenciación molecular, para comprobar la siguiente hipótesis: la comida cruda canina presenta mayor concentración de microorganismos que la seca y la húmeda. Los resultados del análisis indicaron que las muestras crudas superaron los límites microbiológicos permitidos; además se detectó *Salmonella* y/o *Shigella* spp., lo que supone un gran riesgo para la salud canina y humana. En contraste, las muestras secas y húmedas presentaron valores aceptables de bacterias aerobias totales, enterobacterias, *Clostridium* spp. y hongos. En las muestras secas, se observó crecimiento de colonias en medio selectivo compatible con la bacteria patógena *Listeria monocytogenes*; sin embargo, tras su identificación molecular se descartó su presencia, destacando la necesidad de establecer un medio de cultivo más específico para *Listeria* que el que indica la normativa. Por otro lado, a partir de los resultados de un cuestionario poblacional se obtuvieron conclusiones exploratorias que correlacionan el bienestar canino con parámetros sociales y alimenticios, abriendo vías de investigación empírica posterior con mayores tamaños muestrales.

Palabras clave: Perro, Bienestar, Comida cruda, Pienso seco, Comida húmeda, Bacteria patógena, Una Sola Salud

ABSTRACT

The current approach of a common framework for animal and human health *(One Health)* emphasizes the need for research addressing the microbiological safety of canine food and its impact on the transmission of zoonotic diseases to humans. In this pioneering study in Spain, a microbiological analysis was carried out on 15 samples of three types of canine food. Standard techniques for microbial isolation and enumeration, differential staining, and molecular sequencing were used to test the following hypothesis: raw canine food has a higher concentration of microorganisms than dry and wet food. The results of the analysis indicated that the raw samples exceeded the permitted microbiological limits; in addition, *Salmonella* and/or *Shigella* spp. were detected, which poses a significant risk to canine and human health. In contrast, the dry and wet samples showed acceptable levels of total aerobic bacteria, enterobacteria, *Clostridium* spp., and fungi. In the dry samples, growth was observed on selective medium consistent with the colonies of the pathogenic bacterium *Listeria monocytogenes*; however, its presence was ruled out after molecular identification, highlighting the need to establish a more specific culture medium for *Listeria* than that indicated by the legislation. On the other hand, exploratory conclusions were drawn from the results of a questionnaire on the population, correlating canine welfare with social and nutritional parameters, which opens venues for further empirical research with larger sample sizes.

Keywords: Dog, Welfare, Raw food, Dry food, Wet food, Pathogenic Bacteria, One Health

1. INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

La finalidad de este proyecto es investigar sobre el bienestar y salud del perro. Abordaremos nuestro objetivo de forma dual: a) mediante un estudio detallado de indicadores bacterianos, hongos filamentosos y levaduras presentes en tres tipos distintos de comida de perro; y b) mediante la aplicación y análisis de un cuestionario, diseñado para valorar diversos indicadores asociados a la calidad de vida (social y alimentaria) de la mascota, que nos ayuden a integrar en un mismo marco conceptual parámetros de salud y bienestar social.

1.1 *Canis lupus familiaris*

Canis lupus familiaris, nombre en latín del perro, es un animal dentro del Dominio *Eukarya*, Reino *Animalia*, Filo *Chordata*, Subfilo *Vertebrata*, Clase *Mammalia*, Orden *Carnívora*. A pesar de que los perros se alimenten voluntariamente de una dieta omnívora (tanto de origen vegetal como animal), presentan múltiples rasgos carnívoros predominantes, entre ellos: dientes y mandíbula adaptados a

romper huesos y arrancar carne, un intestino corto adecuado para digerir más carne que plantas y un físico adaptado a velocidad y resistencia (Craig, 2019, cita a Hill, 2010 & Khuly, 2013). Dentro de la familia *Canidae*, a los perros se les considera una subespecie evolucionada a partir de *Canis lupus*: el lobo (Dewey & Bhagat, 2002).

Según Budiansky (2000, p. 18), se han encontrado esqueletos de perros de hace 7.000 años entre los restos arqueológicos humanos en China, Gran Bretaña y Sudamérica, aunque el primer descubrimiento del esqueleto de un perro enterrado junto al de un hombre se encontró en Ain Mallaha (Norte de Israel) datado hace 12.000 años. Se trataba del esqueleto de un hombre con su mano encima de la cabeza de un cachorro. Desde entonces, el vínculo entre humanos y perros se ha mantenido hasta la actualidad; el perro sigue considerándose el mejor amigo del hombre, y la domesticación de esta especie continúa expandiéndose. Según El País (2025), en España, de 47 millones de personas que habitan, 9 millones de ellas tienen perro (sólo teniendo en cuenta los perros que portan microchip). Asimismo, según datos de La Federación Europea de la Industria de Alimentos para Mascotas (FEDIAF, 2025), el 2 5% de hogares europeos posee al menos un perro.

1.2 Alimentación canina

En este apartado se detallan los tres tipos de comida canina que se han seleccionado para este estudio: el pienso seco, la comida húmeda y la comida cruda, explicando en qué consiste cada uno de ellos e indagando en sus procesos de fabricación. También se establecen las diferencias entre los tres, teniendo en cuenta sus composiciones, así como los beneficios e inconvenientes ocasionados en la salud, principalmente relacionados con el ámbito microbiológico.

Antes de empezar, es esencial comprender que las necesidades nutricionales de los perros varían en gran medida de las de los humanos. De hecho, cualquier error en la alimentación, como ofrecer un trozo de chocolate, puede desencadenar repercusiones negativas en la salud canina. Es fundamental que la mascota reciba una alimentación equilibrada y natural, por lo que los fabricantes de la comida canina mezclan ingredientes como carne, pescado, cereales, verduras, minerales y vitaminas. Aun así, como en el caso de los humanos, la alimentación del animal depende de su edad, tamaño y el ejercicio que realice (FEDIAF, s.f.).

FEDIAF, que actualiza las 'Guías Nutricionales para Alimentos Completos y Complementarios para Perros y Gatos' cada varios años, es considerada la gran referencia europea de alimentos nutricionalmente equilibrados para estos animales, y está respaldada por organismos reguladores y expertos del ámbito veterinario y nutricional.

Sin embargo, las directrices establecidas por la FEDIAF son voluntarias, como se expresa en su Guía Nutricional (2018, p. 5): "La guía no sustituye los requisitos reglamentarios nacionales y se basa en la plena responsabilidad de cada fabricante de alimentos para animales de compañía [...]" (traducido del inglés). Entre las normas legislativas a las que se aluden en la Guía, encontramos la mención de Reglamentos establecidos por la Unión Europea que regulan la higiene, etiquetado y fabricación de alimentos para animales de compañía. En el Reglamento de la Unión Europea (UE) 142/2011 encontramos la normativa de la calidad microbiológica de la alimentación destinada a animales domésticos, que se detallarán en cada apartado correspondiente.

1.2.1 Pienso seco

El pienso seco constituye la modalidad de alimentación más empleada para perros, debido principalmente a su practicidad: se vende tanto en supermercados como en clínicas veterinarias, se conserva durante mucho tiempo al comercializarse normalmente en paquetes grandes, la refrigeración es innecesaria, y permite racionar las comidas de manera cómoda y precisa. Según FEDIAF (2025, p.7), la comida seca es aquella que dispone de contenido de humedad del 14% o menor. De acuerdo con su explicación en *How Dry Pet Food Is Made* (traducido a "Cómo se fabrica la comida seca para mascotas"), el pienso seco sigue el siguiente proceso de fabricación: en primer lugar, los ingredientes –que a menudo incluyen cereales y subproductos, productos de soja, subproductos animales, grasas y aceites, así como vitaminas y mineralesse mezclan para dar lugar a una masa. A continuación, se lleva a cabo el proceso de extrusión, donde la masa se calienta bajo presión y luego se pasa a través de una matriz que corta los *kibbles* ("croquetas") mientras estos se expanden debido al cambio de presión. El tamaño y la forma de las croquetas varía dependiendo del producto deseado. Por último, las croquetas son secadas, enfriadas y se recubren mediante la pulverización.

Asimismo, algunos alimentos secos pueden ser elaborados mediante procesos que requieren un horno.

Niemiec *et al* (2020, p.119) establecieron que la dieta seca es la que produce una menor cantidad de residuos orales que pueden actuar como nutrientes para las bacterias, lo que contribuye a una acumulación más lenta de placa dental, un aspecto en el que también influye la acción de masticar el pienso seco. No obstante, esto no implica que todos los perros cuya alimentación se base en la comida seca estén exentos de padecer gran acumulación de placa dental o de enfermedad periodontal, como se demostró en los estudios de Logan (2006) y Harvey, Shofer & Laster (1996). A su vez, una gran cantidad de piensos secos estándar o comerciales se rompen con elevada facilidad durante el proceso de masticación, de tal manera que disminuye el efecto mecánico, especialmente en la zona gingival (perteneciente a las encías) que guarda mayor relevancia con las enfermedades periodontales.

1.2.2 Comida húmeda

Aunque tradicionalmente se ha asociado la comida húmeda o enlatada a la dieta de gatos, en las últimas décadas se ha observado un incremento en la incorporación de este tipo de alimento en la alimentación de los perros, reflejado en un aumento de la comida húmeda en la industria de nutrición canina.

Según FEDIAF (2025, p. 8), la comida húmeda es aquella que presenta un contenido de humedad del 60% o mayor. La fabricación de los alimentos húmedos queda establecida por FEDIAF (2022, p.1), donde se mezclan los ingredientes y se esterilizan en el autoclave a una temperatura muy elevada (entre 113 ºC y 121 ºC) dentro de un envase herméticamente sellado (lata, sobre o bandeja). Por tanto, se extiende la vida útil del alimento sin necesidad de refrigeración permaneciendo completamente estéril dentro de su env ase hasta que se abre. Estos alimentos se presentan bien en forma de trozos en salsa, caldo o gelatina, o bien como un paté.

Varios estudios, incluyendo el de Oba *et al* (2022), han demostrado que la comida húmeda está vinculada a una mayor acumulación de placa dental, peor olor bucal y una composición bacteriana de microbiota oral asociada a un peor estado de salud del perro en comparación con los resultados proporcionados por la alimentación basada en pienso seco.

Asimismo, Raspa *et al* (2023) constataron que los recipientes utilizados para la administración de la comida húmeda manifestaban una mayor presencia significativa de bacterias aerobias totales, enterobacterias y bacterias patógenas tales como *Salmonella* spp. y *Escherichia coli* frente a aquellos empleados para el suministro del pienso seco. En definitiva, la incorporación de la dieta húmeda o enlatada en la alimentación de un animal de compañía –no únicamente en el caso de perros– requiere una aplicación rigurosa de medidas higiénicas y seguras, dado que estas son fundamentales para minimizar el riesgo de contaminaciones microbianas en entornos domésticos.

Sin embargo, cabe señalar que es una opción conveniente para aquellos perros que no ingieren suficiente cantidad de agua por su cuenta, por tanto, incorporarla a la dieta es una buena manera de incrementar la ingesta adecuada de líquido. Adicionalmente, debido a su textura blanda, la comida húmeda resulta adecuada para perros con problemas bucales o gingivales, a los que el pienso seco y duro les presenta dificultades a la hora de masticar.

1.2.3 Comida cruda

En los últimos años, la alimentación cruda o dieta BARF para perros (*Biologically Appropriate Raw Food*, traducido a "Alimentación Cruda Biológicamente Apropiada") ha ganado popularidad debido a la búsqueda de opciones más "naturales" por los dueños. Este cambio ha sido impulsado por los beneficios percibidos en la salud de la mascota y por la desconfianza y rechazo hacia los alimentos producidos industrialmente (Davies, Lawes & Wales, 2019). Muchos dueños defienden que la dieta cruda constituye la mejor opción dada la ascendencia carnívora salvaje del *Canis lupus familiaris* y consideran que las dietas basadas principalmente en carne cruda son más sanas debido a su mayor valor nutricional, el escaso nivel de procesamiento al que ha sido sometido, su reducido valor de carbohidratos y la presencia de ingredientes integrales (Lyu, Wu, Li, & Pu, 2025). Las ventajas apreciadas por los dueños son numerosas: mejora del pelaje y la piel; la eliminación del mal olor del aliento, cuerpo y heces; el incremento en la energía y mejora en el comportamiento; la optimización de la salud y el sistema inmunológico; y la disminución de casos de condiciones médicas tales como alergias y pancreatitis (Freeman, Chandler, Hamper, & Weet, 2013).

Ahora bien, la dieta BARF también presenta múltiples desventajas graves. En primer lugar, la comida basada en carne cruda normalmente supone un desequilibrio nutricional: se aprecia una deficiencia o un exceso de nutrientes, en concreto de calcio, de oligoelementos como cobre, zinc y yodo, y de las vitaminas A y D (Kölle & Schmidt, 2015).

Cabe destacar además que un factor de riesgo y alerta originado por el incremento de la alimentación cruda para perros radica en sus altos niveles de contaminación microbiana, la posible presencia de bacterias patógenas y, por ende, en su potencial zoonótico (Van Bree *et al*., 2018). La principal razón de ello es que el único tratamiento al que son sometidos los alimentos crudos comerciales es la congelación, que, aunque inhibe el crecimiento microbiano, no provoca necesariamente la muerte celular (Madigan, Martinko, Dunlap & Clark, 2009).

El Reglamento de la UE Nº 142/2011 establece que durante la producción o almacenamiento se deberán tomar cinco muestras aleatorias de alimentos crudos destinados a animales de compañía para comprobar que a) *Salmonella* sea ausente en 25 gramos de cada muestra y b) no se superen las 5.000 unidades formadoras de colonia por gramo (ufc/g) de *Enterobacteriaceae* en dos de las cinco muestras.

1.3 Indicadores microbianos de contaminación alimentaria

A continuación, se describen los microorganismos determinados en este estudio, resaltando sus características fisiológicas que los hacen marcadores de la calidad microbiológica de los alimentos.

1.3.1 Bacterias aerobias totales

Se denominan bacterias aerobias totales al grupo de bacterias que depende de la presencia de O 2 atmosférico para su crecimiento, dado que el oxígeno sirve como aceptor terminal de electrones para la cadena de transporte electrónico en el proceso de respiración aerobia.

Determinar las unidades formadoras de colonias (ufc/g) de este grupo de bacterias en un alimento sirve como indicador de la calidad de la materia prima empleada y de la higiene durante el proceso de elaboración del producto. Un alto recuento de bacterias aerobias puede sugerir malas condiciones de higiene y manipulación, y suponer riesgo en la salud y seguridad, aunque no están directamente relacionadas con la presencia de patógenos (Gamazo, López-Goñi y Díaz, 2010, p.150).

Si bien no existe un límite establecido por la Unión Europea con respecto a la cantidad permitida de bacterias aerobias totales en productos destinados al consumo de animales domésticos, Kukier *et al* (2012) fijaron su límite en 106 ufc/g.

1.3.2 Enterobacterias

La familia *Enterobacteriaceae* agrupa a los bacilos Gram negativos que no forman esporas y que, o bien carecen de movilidad, o bien se mueven gracias a flagelos peritricos (cuerpo celular rodeado de pelos). Asimismo, las enterobacterias son oxidasas negativas; esto quiere decir que carecen de la enzima citocromo oxidasa, que oxida el citocromo c y transfiere los electrones al oxígeno, el último portador de electrones en el proceso de respiración celular aeróbica (Ahmad, Wolberg & Kahwaji, 2023). No por ello se ve anulada la capacidad de las enterobacterias de utilizar O 2 – no son anaerobias estrictas sino que son anaerobias facultativas: pueden crecer con o sin la presencia de oxígeno (Madigan *et al*., 2009). Aunque se encuentren en varios ambientes, se aíslan en el intestino del humano y de animales.

Su detección en altas concentraciones en alimentos puede ser indicativa de fallos en la higiene durante la producción, de una contaminación después del procesamiento (Gamazo *et al*., 2010, p.153), o también de una posible contaminación fecal (Takahashi *et al*., 2017).

Se identifican múltiples géneros relevantes de la familia de enterobacterias, entre los que destaca *Escherichia*- ubicua en los tractos intestinales de humanos y de otros animales endotermos -, *Proteus*, o la clásica *Salmonella*, sobre la cual se comentará en detalle en el apartado 1.3.4.

1.3.3 *Clostridium* spp.

El género *Clostridium*, perteneciente a la Clase *Clostridia*, incluye bacterias anaerobias estrictas, Gram positivas, fermentadoras y formadoras de endosporas. Los anaerobios estrictos, a diferencia de los anaerobios facultativos que también pueden utilizar oxígeno, se caracterizan por crecer únicamente en ambientes en ausencia de oxígeno; de hecho, son incapac es de emplearlo y pueden incluso resultar inhibidos o morir en su presencia (Holland, Knapp & Shoesmith, 2013). *Clostridium* puede sobrevivir bajo condiciones extremas mediante la formación de endosporas, que

permiten a la bacteria mantener un estado metabólicamente inactivo y persistente de tal modo que se pueda conservar el material genético de la célula (Bacterial Endospores, s. f.).

Muchas de las especies de *Clostridium* son productores de toxinas y patógenos muy comunes e importantes. Por ejemplo, *Clostridium difficile*, que produce diarrea y colitis; *Clostridium perfringens*, que produce gangrena gaseosa (una infección que causa la destrucción del músculo esquelético) y toxiinfecciones alimentarias; y *Clostridium botulinum*, el agente causante del botulismo (Willey, Sherwood & Woolverton, 2008).

1.3.4 *Salmonella-Shigella*

Salmonella es un género de bacilos Gram negativos que como se ha mencionado anteriormente pertenece a la familia *Enterobacteriaceae*. Se trata de un bacilo móvil, Gram negativo y anaerobio facultativo. *Salmonella* es una bacteria ubicua y capaz de sobrevivir durante varias semanas frente a sequedad y varios meses frente a humedad (Organización Mundial de la Salud, 2018). Actualmente se han distinguido más de 2.500 serotipos diferentes, es decir, variedades dentro del género, que han sido identificadas mediante análisis serológicos (*Real Academia Española*, s. f.) en dos especies, *Salmonella typhi* y *Salmonella enterica*. Estas bacterias son capaces de sobrevivir temperaturas entre 8 ºC y 45 ºC grados, aunque la temperatura óptima para su crecimiento son los 37 ºC. Por lo tanto, debido a esta capacidad versátil de adaptación a condiciones ambientales que difieren de sus condiciones habituales de crecimiento, estas bacterias poseen un gran riesgo para la industria alimentaria (Chlebicz & Śliżewska, 2018).

Salmonella causa la salmonelosis, una infección que, una vez que el patógeno coloniza el epitelio intestinal, produce síntomas tales como fiebre, dolor abdominal, diarrea, náusea y, a veces, vómitos, todos síntomas que empiezan a manifestarse entre 6 y 72 horas tras su ingesta y duran entre dos y siete días (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Por otro lado, *Shigella*, también perteneciente a la familia de las enterobacterias, es normalmente patógena en humanos y causante de una gastroenteritis grave denominada disentería bacilar o shigelosis. Los síntomas a menudo se presentan entre un día y siete días tras haber estado en contacto con la bacteria e incluyen: dolor abdominal agudo o calambres; fiebre aguda; diarrea acuosa y con sangre; sangre, moco o pus en las heces; y vómitos y náuseas, entre otros (MedlinePlus, s. f.).

1.3.5 *Listeria monocytogenes*

Listeria es un género de cocobacilos Gram positivos que suelen agruparse en cadenas de entres tres a cinco células. No forman endosporas, son tolerantes al ácido, al frío y a la sal, y anaerobios facultativos (Madigan *et al*., 2009).

Listeria monocytogenes es la especie típica del género y se puede encontrar en prácticamente todas las fuentes alimentarias, las cuales pueden ser contaminadas durante su fase de crecimiento o durante el propio procesamiento. *L. monocytogenes* es de especial relevancia en salud pública por su carácter patógeno ya que causa listeriosis. Esta es una infección intestinal grave que desencadena bacteriemia, que es la presencia elevada de bacterias patógenas en la sangre (Real Academia Española, s.f). La listeriosis suele verse complicada por meningoencefalitis en individuos inmunocomprometidos (por ejemplo, enfermos del SIDA) y ancianos, al igual que por la infección fetal -placentaria en mujeres embarazadas (Disson, Moura & Lecuit, 2021). En definitiva, en individuos sanos esta enfermedad raramente causará infección y será asintomática. Por lo contrario, en individuos inmunocomprometidos, esta bacteria puede llegar a producir una infección grave y causar la muerte. Según un informe de la Unión Europea sobre zoonosis, agentes zoonóticos y brotes transmitidos por alimentos en 2012, 26 países declararon 1.642 casos confirmados de listeriosis humana, mientras que 18 de ellos informaron 198 muertes debido a listeriosis (Angelidis, Kalamaki & Georgiadou, 2014 citan a EFSA-ECDC, 2014).

1.3.6 Hongos filamentosos y levaduras

Los hongos son existen principalmente como hifas filamentosas o formas unicelulares (levaduras). Según Willey et al (2008, p.629), el término hongo se utiliza para referirse a organismos eucariotas mayoritariamente aerobios que carecen de clorofila, se nutren por absorción, poseen la capacidad de formar endosporas, y se reproducen de manera tanto sexual como asexual.

Los hongos pueden resultar patógenos para plantas y animales. En el primer caso, se ha visto que los hongos patógenos han devastado las cosechas de frutas y cereales alrededor de todo el mundo. En concreto, las micotoxinas o aflatoxinas producidas por *Aspergillus flavus* suelen aparecer en alimentos almacenados inadecuadamente, espe-

cialmente aquellos que contienen cereales Madigan *et al*., 2009, p. 592). La alimentación canina presenta, en muchos casos, tanto cereales como verduras.

Según la FDA (*Food and Drug Administration* traducido al castellano como "Administración de Comida y Medicamento"), las aflatoxinas en concentraciones elevadas pueden causar enfermedades como aflatoxicosis, daños hepáticos y la muerte en las mascotas, incluso sin señales externas visibles de mohos en el alimento.

1.4 Bienestar animal

El Código Sanitario para los Animales Terrestres de la OMSA (Organización Mundial de Sanidad Animal) (2006, p. 455) explica el bienestar animal con la siguiente definición: "Un animal está en buenas condiciones de bienestar si está sano, cómodo, bien alimentado, en seguridad, puede expresar formas innatas de comportamiento y no muestra sensaciones desagradables de do lor, miedo o desasosiego".

Para lograr una buena calidad de vida para la mascota, se deben cubrir las cinco libertades que vienen definidas por la OMSA (2006, p. 455): el animal debe ser libre de pasar hambre o sed, libre de malestar, libre de sufrir dolor, daño o enfermedad, libre de miedo y estrés, y libre para manifestar patrones normales de comportamiento. Asimismo, proponen un modelo de cinco dominios (2024, p. 3) que plantea un marco conceptual a partir del cual se pueda evaluar el bienestar físico y mental del animal bajo el control del ser humano, que consiste en la nutrición, el estado mental, el medio ambiente, el comportamiento y la salud (sanitaria).

2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Existe una amplia literatura científica sobre la microbiología de distintos tipos de alimentos caninos, con estudios detallados en Europa (ej. Kukier *et al*., 2012; Morgan, Pinchbeck, Taymaz & Williams, 2024), EE. UU. (ej. Strohmeyer *et al*., 2006), Latino América (Solís, Toro, Navarrete, Faúndez, y Reyes -Jara, 2022) y Asia (ej. Serhan, Hadid, Dimassi, Deghel & Hassan, 2022; Hadid *et al*., 2024). Se han realizado revisiones bibliográficas recientes que analizan la presencia y abundancia de microorganismos en la comida cruda, húmeda y piensos secos (Davies *et al*., 2019; Dhakal, Cancio, Deliephan, Chaves & Tubene, 2024), poniendo especial énfasis en las bacterias patógenas encontradas. Sin embargo, en España, hasta nuestro conocimiento, no existen estudios sobre este tema. Se requiere realizar investigación en nuestro país, ya que es esencial comprobar la ausencia de contaminación microbiana y de patógenos en alimentos para perros con el fin de proteger la salud canina e impedir la transmisión de enfermedades zoonóticas a humanos, integrando así la salud humana y del perro en un mismo enfoque (Una Sola Salud /*One Health*) (Figura 1).

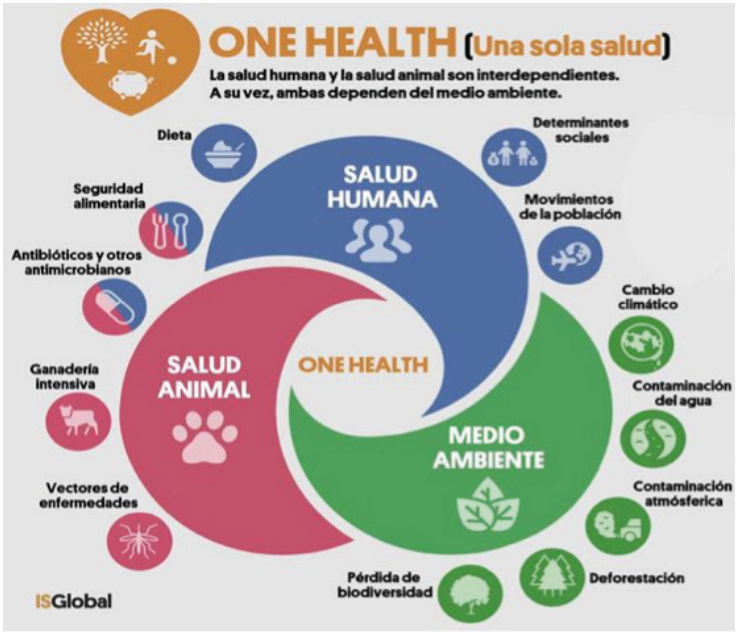


Figura 1.- Interfaz Una Sola Salud/*One Health* mostrando como la salud humana y la sanidad animal estan interconectadas y vinculadas a los ecosistemas en los que coexisten. Imagen del Instituto de Salud Global de Barcelona 12

Por esta razón, en este proyecto planteamos realizar un análisis microbiológico de una variedad de alimentos caninos comercializados en España, con el objeto de garantizar el acceso a alimentos seguros que no expongan riesgo microbiológico, así como de contribuir a la concienciación social sobre la importancia de una correcta manipulación y procesamiento durante la fabricación de los alimentos caninos. Además, los modelos actuales sobre el bienestar del perro engloban parámetros que se enmarcan en el mencio nado concepto integrador de Una Sola Salud/*One Health*. Por ello, en este proyecto también se propone la elaboración de un cuestionario que, una vez analizado, permita evaluar distintos indicadores del bienestar del perro, a nivel social, sanitario y alimentario.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis 1: La comida cruda, cuyos ingredientes no son sometidos a ningún tratamiento térmico efectivo, presenta mayores concentraciones bacterianas y de hongos que el pienso seco y la comida húmeda.

Para comprobar si nuestra hipótesis se valida o se refuta, se plantean los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Determinar y comparar estadísticamente las concentraciones de los grupos principales de bacterias y hongos presentes en tres tipos de comida para perros: cruda, seca y húmeda.

Objetivos específicos:

- Investigar la presencia de posibles bacterias patógenas (*Salmonella-Shigella* y *Listeria monocytogenes*) en los distintos tipos de comida canina mediante su cultivo y aislamiento.
- Confirmar la identificación de las colonias aisladas como potenciales *L. monocytogenes* mediante secuenciación molecular.

Hipótesis 2: El tipo de comida tiene efecto en la salud del perro.

Para comprobar si nuestra hipótesis se corrobora o se refuta, se plantea el siguiente objetivo:

Objetivo general:

Diseñar, llevar a cabo y analizar un cuestionario sobre la alimentación y bienestar caninos.

Objetivo específico:

• Identificar y relacionar estadísticamente las variables indicadoras de descriptiva poblacional, de salud, y de hábitos alimenticios y sociales.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se describen los materiales y protocolos utilizados para llevar a cabo la parte experimental de este proyecto y con ello obtener datos con los que verificar o no las hipótesis planteadas.

4.1 Análisis microbiológico de las muestras

Se realizaron análisis cuantitativos de bacterias aerobias, enterobacterias, hongos (hongos filamentosos y levaduras), *Clostridium* spp., y pruebas de detección (presencia/ausencia) de *Salmonella-Shigella* spp. y *Listeria monocytogenes* en muestras seleccionadas de piensos secos, húmedos y comida cruda. Primero describiremos los medios de cultivo empleados y posteriormente los diferentes métodos utilizados para el recuento, aislamiento e identificación microbiana.

4.1.1 Medios de cultivo

Los medios de cultivo utilizados fueron medios generales, de enriquecimiento y selectivos (Gamazo *et al*., 2010):

- Los **medios generales** (Agar de Tripticasa Soja (TSA) y agua peptonada) permiten el crecimiento de microorganismos sin requerimientos nutricionales complejos.
- Los **medios de enriquecimiento** favorecen el crecimiento de un determinado tipo de microorganismo que se encuentra de forma minoritaria o que requiere un paso previo de cultivo para poder ser detectado (Medios Rappaport y de Fraser).
- **Los medios selectivos** (MacConkey, Rosa Bengala, *Salmonella-Shigella*, SPS y Palcam) son aquellos que posibilitan el crecimiento de un tipo microbiano específico, impidiendo el desarrollo de otros.

Los medios se esterilizaron en autoclave (121 ºC, 20 min, 1 atm de sobrepresión). En el caso de los que se utilizan en placas de Petri, se procedió a "plaquear", es decir, a verter el medio de cultivo en placas Petri estériles, aproximadamente hasta la mitad de cada placa, en condiciones asépticas en la campana de flujo (Figura 2). Una vez solidificado el medio, las placas se cerraron, se dejaron reposar en cuarentena durante 24 horas y se introdujeron en la cámara fría a 4 ºC hasta su uso. A continuación, se describe la preparación de los medios empleados y para qué bacteria o grupo bacteriano se utilizan.

Agar Tripticasa Soya (TSA): Medio utilizado para cultivar las bacterias aerobias totales. El TSA (Condalab, España) se preparó siguiendo las directrices de la casa comercial (40 g de polvo deshidratado en 1L de agua destilada). Las placas se incubaron en estufa a 37 ºC durante 24 horas.

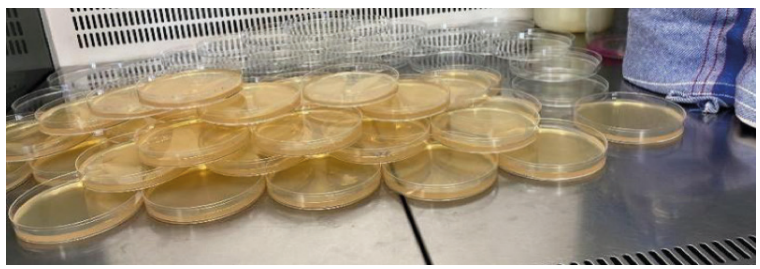


Figura 2.- Placas Petri con medio TSA recién plaqueado en la campana de flujo (Elaboración propia).

Agar MacConkey: Se utilizó para cultivar enterobacterias. Este medio se preparó mezclando 50 g de polvo deshidratado en 1 L de agua destilada (Condalab, España). Las placas se incubaron a 37 ºC durante 24 horas.

Agar SPS (del inglés *Sulphite Polymyxine Sulfadiazine*): Medio utilizado para el aislamiento y el crecimiento de *Clostridium* spp. Para la preparación del medio, se añadieron 39,7 g de polvo deshidratado a 1 L de agua destilada (Condalab, España). Como *Clostridium* es un género de bacterias anaerobias estrictas, el oxígeno es tóxico para ellas, por lo que, para cultivar esta bacteria, se debe hacer en condiciones anaeróbicas. Para lograr dichas condiciones, las placas fueron introducidas en una jarra de anaerobios (Figura 3) con un sobre de OXOID AnaeroGen (ThermoFisher), que contiene ácido ascórbico que se oxida rápidamente consumiendo el oxígeno presente en el interior de la jarra. Las placas se incubaron a 37 ºC durante 48 horas.



Figura 3.- Jarra de anaerobios para crecimiento de *Clostridium* spp. en ellas, por lo que, para medio SPS (Elaboración propia).

Agua peptonada, Rappaport y Agar *Salmonella-Shigella*: Para detectar *Salmonella y Shigella* spp., se debe realizar un proceso diferente a los anteriores, ya que estas bacterias exigen un pre-enriquecimiento. En primer lugar, se preparó agua peptonada. Este medio consiste en añadir 12,75 g de polvo deshidratado a 500 mL de agua destilada (Condalab, España). La mezcla se dosificó (7 mL) en tubos de cristal que se llevaron a autoclavar. Una vez sembrados los tubos se inocularon e incubaron en la estufa a 37 ºC durante 24 horas. El proceso requiere de un subsecuente pre-enriquecimiento en medio Rappaport (Condalab, España), que es un medio de enriquecimiento de *Salmonella-Shigella*. Este se preparó mezclando 15 g del medio con 500 mL de agua destilada y dosificando la mezcla (7 mL) en tubos de cristal que se llevaron a autoclavar. Estos tubos fueron posteriormente inoculados c on 1 mL del correspondiente tubo de agua peptonada. Los tubos de medio Rappaport inoculados se incubaron en estufa a 42 ºC durante 24 horas. Por último, la detección de *Salmonella-Shigella* consistió en el aislamiento de colonias por agotamiento de asa en placa (proceso explicado en el apartado 6.1.4) en placas de medio *Salmonella-Shigella* (Condalab, España), preparado mezclando 30 g del polvo deshidratado en 1 L de agua destilada. Como este medio no es apto para ser esterilizado en autoclave, por su alta concentración de sales y componentes que precipitan con la temperatura del autoclave (121 ° C), se dispuso la mezcla en un agitador Bunsen hasta ebullición, incorporando una varilla magnética dentro de la botella con el objetivo de facilitar la homogeneización. Homogeneizada la mezcla, esta se dejó enfriar y se plaqueó en placas Petri bajo campana de flujo. Una vez realizado el agotamiento de asa en las placas, estas se llevaron a incubar a la estufa a 37 ºC durante 24 horas.

Agua peptonada, Fraser y Agar Palcam: *Listeria monocytogenes* es un tipo de bacteria patógena que también requiere de pre-enriquecimientos. Se utilizó agua peptonada como enriquecimiento primario, seguido por medio Fraser como enriquecimiento secundario. A continuación, se emplearon placas de agar Palcam, que es un medio selectivo y diferencial para *Listeria spp*. El medio Palcam está recomendado por la norma ISO 11290 (2017) para la detección y enumeración de *L. monocytogenes* en productos alimenticios, muestras clínicas y muestras ambientales. En este caso, se compraron tubos y placas ya preparadas de medio Fraser y Palcam respectivamente. Para la siembra de ambos medios se empleó el protocolo de Hadid *et al* (2024). Brevemente, este protocolo consiste en la inoculación (1 mL) e incubación a 37 °C en tubos de agua peptonada tamponada (7 mL) durante 24 horas, seguido de siembra (1 mL) en caldo de Fraser e incubación a 42 °C durante 24 horas. Posteriormente, las muestras del caldo Fraser se sembraron por agotamie nto de asa en placa en Agar Palcam (Biolife, Italia). La aparición de colonias negras después de la incubación a 37 °C durante 24 horas es un indicativo presuntivo de la presencia de especies pertenecientes a *L. monocytogenes*.

Agar Rosa Bengala: Medio utilizado para el crecimiento de hongos filamentosos y levaduras, que contiene el antibiótico cloranfenicol (Conda, Pronadisa) para evitar el cre-

cimiento acompañante de bacterias. Para su preparación, se adicionaron 31,55 g de polvo deshidratado a 1 L de agua destilada (Condalab, España). Las placas se incubaron a 28 ºC de 48 a 96 horas para recoger posibles hongos filamentosos de crecimiento lento.

4.1.2 Selección y procesamiento inicial de las muestras

Se seleccionaron 15 muestras para su estudio; seis del tipo seco, seis del tipo húmedo y tres de comida cruda (dieta BARF). Los piensos secos y húmedos son productos desarrollados en diferentes gamas (alta, baja), por lo que se tomaron 3 muestras de gama alta y 3 de gama baja respectivamente para cada tipo de pienso. La dieta BARF no se ha desarrollado lo suficientemente como para existir en gamas, así que se escogieron tres muestras estándares. Las tres muestras crudas se describen en sus etiquetas como 100% naturales y sin aditivos, conservantes, ni cereales. Todas las muestras contenían como ingredientes secundarios vísceras, frutas y verduras. La muestra 13 estaba compuesta por carne fresca de pollo y huesos carnosos; la muestra 14 por carne de pavo y boquerón; y la muestra 15 por carne magra de ciervo.

Se extrajeron 25 g de cada muestra de pienso y se añadieron en campana de flujo bajo condiciones asépticas a matraces de cristal conteniendo 225 ml de suero salino (0,9%), sometiéndose estos a agitación (Lan Technics) a 100 rpm y temperatura ambiente durante 10 minutos. Posteriormente, se filtró la mezcla heterogénea de cada matraz con la ayuda de embudos y gasas esterilizados para que, al momento de "pipetear" (término que significa recoger el inóculo de la muestra mediante una micropipeta automática que sostiene una punta de plástico estéril), no se encontrasen dificultades por la presencia de grumos de comida y la mezcla quede bien homogeneizada. En el caso de la comida seca, se realizó un paso inicial de trituración con una picadora antes de añadirse al suero salino. Todos los experimentos se llevaron a cabo por duplicado, lo que proporcionó un tamaño muestral total de N=30.

4.1.3. Bancos de diluciones y siembra en superficie en placa

Con la muestra homogeneizada se realizó una dilución seriada decimal en tubos. Este método se utiliza para disminuir la concentración bacteriana de la muestra inicial con el objeto de que las colonias crezcan separadas las unas de las otras en la posterior siembra en placa, facilitando así tanto su contaje como su aislamiento. De forma resumida, como se detalla en la Figura 4, el procedimiento fue el siguiente: con la ayuda de una micropipeta, se extrajo 1 mL de la muestra homogeneizada en el matraz y se añadió a un tubo de cristal con 9 mL de suero salino (0,9%), previamente esterilizado en autoclave. Después de homogeneizar la mezcla en un agitador, se extrajo 1 mL de este tubo y se añadió a otro tubo conteniendo igualmente 9 mL de suero salino, y así suce sivamente hasta diluir la muestra decimalmente en cada paso las veces que fuera necesario.

A continuación, se procedió a la siembra en placa. Esta consiste en transferir un volumen determinado de cada tubo de la dilución seriada, a placas de Petri que contienen el medio de cultivo apropiado para el crecimiento de cada microorganismo que se desea cultivar. El procedimiento fue el siguiente: se tomaron con la micropipeta 100 µL de cada tubo de dilución y se añadieron al centro de cada placa correspondiente a la dilución del tubo. Se empapó a continuación el asa de Drigalsky en alcohol y se incineró con el mechero Bunsen para esterilizarla. El asa se dejó reposar en el agar sin sembrar unos diez segundos, para evitar la destrucción de los microorganismos por calor, y entonces se procedió a extender los 100 µL inoculados sobre toda la superficie del agar de la placa. Todas las placas se llevaron a una estufa a incubar (28 ºC, 37 ºC o 42 ºC, según el grupo) durante 24-96 horas, dependiendo del desarrollo del crecimiento. Una vez transcurrido este tiempo, se realizaron los contajes de unidades formadoras de colonias (ufc) en cada placa y se calculó cuántos microorganismos había en la muestra original (ufc/g) aplicando la fórmula:

$$\mathbf{N\ (ufc/g) = (ufc\ contadas\ /\ V) \cdot 10^{d}}$$

N: unidades formadoras de colonias por gramo
ufc: unidades formadoras de colonias contadas en la placa
V: volumen inoculado en la placa donde realizamos el recuento d: dilución

La Figura 4 refleja gráficamente el protocolo utilizado para realizar un banco de diluciones y siembra en placa. En la figura 5 se muestran algunos de los materiales empleados para realizar el procedimiento.

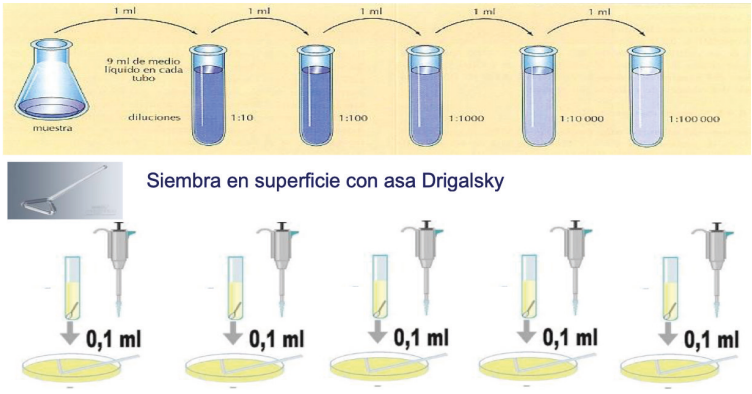


Figura 4.- Representación gráfica del procedimiento utilizado para realizar blanco de diluciones y siembra en placa. Figura adaptada de https://microbiologia3bequipo5.blogspot.com/

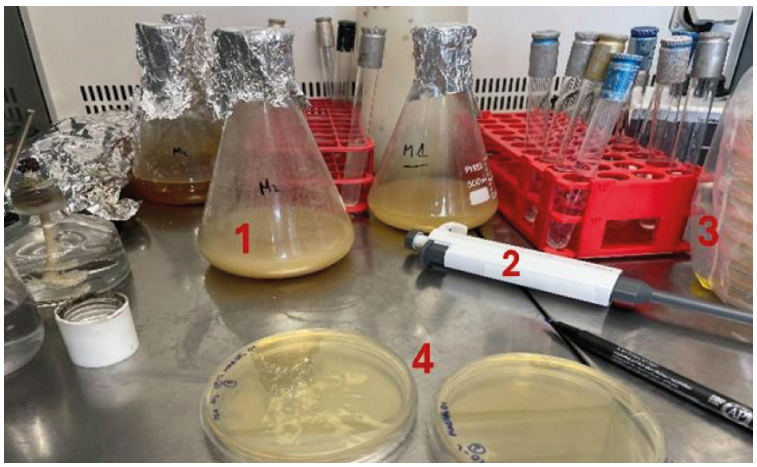


Figura 5.- Materiales para los bancos de diluciones y siembra en placa. 1. Muestra inicial homogeneizada en matraz; 2. Micropipeta automática; 3. Banco de diluciones en suero salino; 4. Placas de Petri con medio de cultivo (Elaboración propia).

4.1.4 Aislamiento de colonias bacterianas por agotamiento de asa en placa

El agotamiento con asa de siembra es una técnica del laboratorio específica para aislar microorganismos y obtener cultivos puros. La descripción de la técnica es la siguiente: el asa de siembra se debe incinerar, manteniéndola levemente inclinada en la llama. Con la otra mano, se sostiene el tubo de cristal donde la bacteria está creciendo, se destapa el tubo cerca de la llama sujetando el tapón con el dedo meñique, y se flamea la boca del tubo. Se introduce el asa de siembra (el cual se debe dejar enfriar 10 segundos desde su incineración) y se extrae una gota del cultivo que quedará adherida por tensión superficial en el extremo del filamento del asa de siembra. Se flamea la boca del tubo y se cierra. A continuación, se realiza el aislamiento mediante agotamiento por estrías, cuyo objetivo es conseguir un número disminuido de las unidades formadoras de colonias (ufc) distribuidas sobre la placa lo suficientemente separadas como para poder aislarlas (Figura 6).

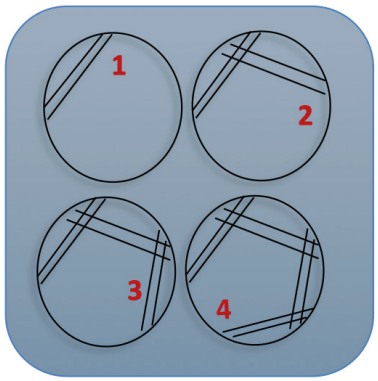


Figura 6.- Representación esquemática del protocolo utilizado para llevar a cabo un agotamiento de asa en placa donde se indican las 4 etapas secuenciales en el proceso con el objeto de aislar colonias (Elaboración propia).

Se abre la placa que debe estar rotulada en la proximidad de la llama del mechero y se realizan dos estrías cerca del borde de la placa (su longitud debe ser aproximadamente un cuarto de la placa) que constituyen la etapa 1. Después, se cierra la placa, se vuelve a incinerar el asa, se abre de nuevo la placa y se deja reposar el extremo del asa de siembra en el centro de la superficie del agar para enfriarla. Seguidamente, a partir del extremo con menos carga bacteriana de las estrías de la etapa anterio r, se vuelven a realizar dos estrías (etapa 2), arrastrando para extender la muestra. Siguiendo esta técnica, se realizan hasta cuatro etapas. Finalmente, se cierra la placa y se cubre con parafilm, un tipo de celo estirable robusto para sellar placas. Finalmente, las placas se llevan a incubar a la temperatura y tiempo adecuado para cada microorganismo estudiado. Este método fue utilizado para el aislamiento de tanto *Listeria monocytogenes* como de *Salmonella-Shigella*.

4.1.5 Tinción diferencial de Gram

La tinción de Gram es una técnica que permite distinguir entre bacterias Gram positivas y Gram negativas gracias a las diferentes propiedades químicas y estructurales de la pared de ambas variedades de bacterias. Las bacterias Gram positivas tienen una pared gruesa de peptidoglicano y moderadamente impermeable que se opone a la decoloración. Sin embargo, las Gram negativas disponen de dos capas; una capa fina de peptidoglucano y una doble capa

lipídica-proteica (la membrana externa), esta última más propensa a la decoloración (Beveridge, 2001). En este trabajo, empleamos la tinción Gram para observar si la morfología, agrupación y Gram de los aislados bacterianos correspondía a lo esperado según su crecimiento en cada medio de cultivo.

La tinción de Gram precisó la preparación previa de un frotis (extensión de la bacteria en un portaobjetos) de la colonia a estudiar según el proceso siguiente: se colocó sobre un portaobjetos limpio una pequeña gota de agua destilada a la que se transfirió una colonia de cultivo utilizando un asa de siembra (esterilizado con el Mechero Bunsen). Con el asa de siembra estéril, se extendió la colonia para dispersar los grumos en la superficie del portaobjetos y se dejó secar. La fijación de las bacterias al portaobjetos se realizó mediante calor, pasando el portaobjetos por la llama del mechero Bunsen rápidamente varias veces.

A continuación, se empleó el proceso de tinción de Gram, realizado en los siguientes pasos:

a) Se añadió el primer colorante, el cristal violeta, hasta cubrir toda la superficie del portaobjetos, y se dejó reposar 1 minuto. El colorante penetra en la pared celular de la mayoría de las bacterias, resultando que estas aparezcan teñidas de violeta, ya sean Gram positivas o Gram negativas.
b) Se desechó el exceso de colorante en un cristalizador y se añadió lugol, un mordiente que forma un complejo junto con el cristal violeta que es insoluble para las Gram positivas y no altera la coloración de la pared. A este se le dejó reposar un minuto también y luego se aclaró con agua destilada.
c) Se añadió alcohol, el agente diferenciador, durante 30 segundos exactos con una pipeta de vidrio Pasteur y sobre el portaobjetos inclinado. El alcohol decolora la pared de las bacterias Gram negativas, que tienen una pared menos gruesa; en cambio, no es capaz de disolver el complejo formado en la pared de las bacterias Gram positivas, así que estas no pierden su color. Una vez transcurridos los 30 segundos, se aclaró con agua para cortar la acción del alcohol que de otra forma podría desintegrar membranas celulares.
d) Se aplicó el colorante de contraste, la safranina, durante un minuto. Este colorante rosa sólo tiñe la pared celular de aquellas bacterias que no han conservado la coloración previa (cristal violeta y lugol), es decir, las Gram negativas.
e) Finalmente, se aclaró el portaobjetos con agua destilada hasta eliminar el exceso de colorante, se dejó secar y se observó al microscopio óptico con el objetivo de inmersión (100x).

La Figura 7 muestra la etapa final del proceso de tinción.

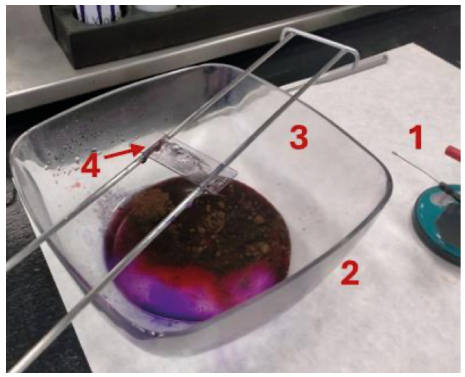


Figura 7.- Realización de Tinción de Gram. 1- asa de siembra; 2- cristalizador; 3- puente de tinciones; 4- frotis bacteriano en portaobjetos (Elaboración propia).

4.1.6 Identificación de aislados bacterianos mediante secuenciación del gen del ADN ribosómico

Para identificar las colonias presuntivas de *Listeria monocytogenes*, tras su aislamiento en medio Palcam, se utilizó la reacción en cadena de la polimerasa (PCR, del inglés *Polymerase chain reaction*). Esta técnica, tal y como viene definida en el Manual de Microbiología Brock- Biología de los microorganismos (Madigan *et al*., 2009, p. 1212), es "un método usado para amplificar una secuencia específica de DNA *in vitro* por repetidos ciclos de síntesis usando cebadores específicos y DNA polimerasa".

Se estudiaron tres muestras diferentes con colonias presuntamente de *L. monocytogenes* (cada muestra precisa de tres reacciones), a las que se añadió una reacción para el control negativo (agua destilada) y dos para el control positivo (procedente de casa comercial), rindiendo un total de 12 reacciones para amplificar el gen de la subunidad pequeña del ARN ribosómico (16S ADNr). Se emplearon los siguientes volúmenes para 14 reacciones (siempre se elabora un excedente para asegurar que no falte mezcla): 175 µL de dNTPs (trifosfatos de desoxirribonucleótidos, que son los precursores del ADN), 14 µL del cebador F, 14 µL del cebador R (los cebadores son los iniciadores de la amplificación de la cadena directa (F, *Forward*) e inversa (R, *Reverse*)

del ADN) y 119 µL de agua esterilizada. De esta mezcla, se tomaron 23 µL que se dosificaron en cada tubo de las 12 reacciones. A continuación, se procedió a la preparación del ADN, utilizando tres tubos eppendorfs separados (uno para cada bacteria y por lo tanto uno para cada tres reacciones). Se extrajo un inóculo de bacteria de cada placa con una punta estéril y se introdujo en un tubo Eppendorf con 50 µL de agua estéril. De cada tubo se tomaron 2 µL que se añadieron a las reacciones mezcla correspondientes produciendo un volumen total por reacción de 25 µL.

Por último, una vez que las 12 reacciones estuvieron completas, cerradas y correctamente rotuladas, se colocaron en el termociclador (Mastercycler Nexus, Eppendorf) y se inició el programa de PCR, con una duración total de 2 horas y 10 minutos. Las condiciones de PCR utilizadas para las muestras fueron: Desnaturalización inicial a 95 ºC durante 1 minuto; y 30 ciclos con tres pasos de 45 segundos a 95 ºC, 1 ciclo; 58 ºC durante 1 minuto y 72 ºC durante 45 segundos; se termina con una extensión final de 72 ºC durante 10 minutos; y las muestras se mantienen a 10 ºC hasta su utilización.

Finalmente, se realizó una electroforesis en gel de agarosa al 1% con los productos de PCR, cuyo objetivo fue diferenciar los fragmentos de ADN en cada reacción dependiendo de su tamaño molecular y su carga (Figura 8). Se introdujeron 5 µl de los productos de PCR en los pocillos de la cubeta del gel y se hizo pasar una corriente eléctrica del polo negativo al polo positivo del gel. Como consecuencia, el ADN de las reacciones - cargado negativamente a causa de grupos fosfatos- migra hacia el polo positivo. Los fragmentos más grandes migran más lentamente, ya que les costará más atravesar el gel y permanecen más cerca de los pocillos que aquellos fragmentos más pequeños. En definitiva, se desarrollarán bandas que separarán el ADN por tamaño. La electroforesis se llevó a cabo en una fuente de alimentación *PowerPac Basic* (Bio-Rad) durante 45 minutos – 1 hora a 80 voltios. La visualización del gel de agarosa se hizo mediante un transiluminador Vilber Lourmat.

El proceso de purificación del ADN amplificado se realizó con el kit NZY Gel Pure (NZYtech, Portugal) siguiendo el protocolo recomendado en las instrucciones del kit. Finalmente, se midió la concentración de ADN (ng/µl) con un espectrofotómetro de microvolumen NanoDrop® ND-1000 (Nanodrop Technologies, EE. UU.).

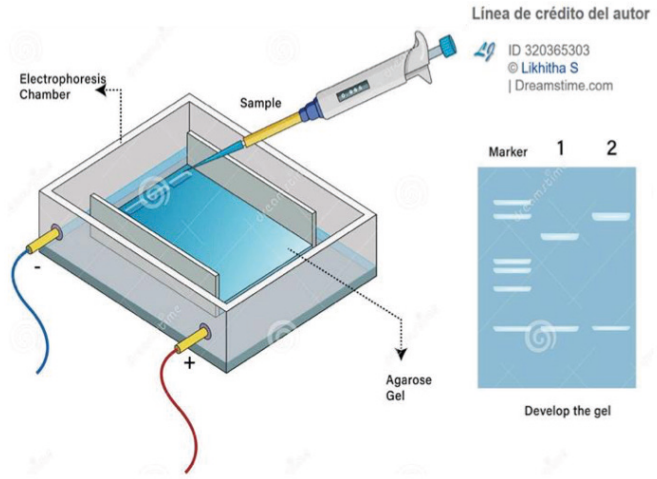


Figura 8.- Esquema del proceso de electroforesis en gel de agarosa. Imagen obtenida de https://es.dreamstime.com/

Las muestras de ADN purificado se enviaron a secuenciar a la empresa Macrogen (España) a la concentración requerida (30 ng/µl en un volumen mínimo de 10 µl de agua molecular o tampón de elución). Una vez recibidos los resultados de secuenciación, se comprobaron los posibles errores (ruido en la banda, bases mal interpretadas), utilizando el programa informático Unipro UGENE (versión 53.0, Rusia). Con este programa se comparó la secuencia de cada cadena, *Forward* y *Reverse*, para después alinearlas correctamente y crear una secuencia consenso, la cual sirve de base para la identificación de la bacteria mediante el cotejo y alineamiento de dicha secuencia con el banco de datos BLAST (*Basic Local Alignment Search Tool*) (versión 2.15.0) del *National Center for Biotechnology Information* (NCBI).

4.2 Diseño del cuestionario "El bienestar del perro"

Se elaboró un cuestionario anónimo online sobre la calidad de vida y el bienestar de los perros que habitan en Guadarrama y pueblos de alrededor, que consistió en 27 cuestiones con respuesta tanto numérica como categórica. Se diseñaron tres tipos de preguntas: a) generales, para recabar información poblacional tanto humana con del perro (municipio, edad, sexo); b) de salud canina (existencia de enfermedad, cambios de comportamiento, problemas digestivos); c) de hábitos alimenticios y sociales (tipos de dieta, juegos, paseos). El cuestionario contenía preguntas

de respuesta cerrada (p.ej: ¿Qué edad tiene tu perro?"), de respuesta abierta (p.ej. "¿Qué entiendes por el término microbiota?") y de respuesta múltiple con distintas opciones para elegir (p. ej. "¿Cuál es el juego favorito de tu perro?").

El acceso al cuestionario y a todas sus preguntas puede hacerse a través del siguiente enlace El Bienestar del Perro.

Para facilitar la difusión del cuestionario se diseñó un *flyer* (Figura 9) que se envió a través de la plataforma WhatsApp; asimismo, se imprimió en formato póster y se distribuyó en una clínica veterinaria y una tienda de mascotas. El cuestionario permaneció abierto durante 4 meses (mayo – septiembre 2025).



Figura 9.- Póster para distribuir el cuestionario "El Bienestar de tu Perro" (Elaboración propia).

4.3. Análisis estadísticos

Análisis de Kruskal-Wallis: es un método no paramétrico que se utiliza para comparar dos o más muestras cuando el número de muestras es pequeño y además no se cumplen las condiciones de aplicación de pruebas paramétricas (normalidad y homocedasticidad). En este análisis, en lugar de comparar las medias de las muestras, se comparan los rangos medios de las mismas.

Análisis factorial de datos mixtos (*Factor Analysis of Mixed Data*, FAMD): esta es una técnica multivariante de reducción de las dimensiones de la variabilidad observada en los datos originales a un número menor de variables, ortogonales entre sí, que mantienen la mayor parte de la varianza original.

Análisis de redundancia (*Redundancy Analysis*, RDA): es un análisis multivariante que explora la relación entre dos conjuntos de variables: variables respuesta/dependientes y variables explicativas/independientes. Se utiliza para comprender la influencia de las variables explicativas en la variación de las variables respuesta. El objetivo principal del RDA es determinar las combinaciones lineales de las variables explicativas que explican la máxima variación en las variables respuesta. Ayuda a identificar qué variables explicativas están más fuertemente asociadas con las variables respuesta y a visualizar las relaciones entre ambos conjuntos de variables.

Análisis de regresión logística múltiple: es un tipo de análisis multivariante de clasificación utilizado para predecir el resultado de una variable dicotómica (binaria) dependiente en función de las variables independientes/explicativas. Es útil para modelar la probabilidad de un evento que ocurre en función de otros factores. El análisis de regresión logística se enmarca en los Modelos Lineales Generalizados (Generalised Linear Models, GLM).

Los análisis se realizaron con InfoStat (vs 2020) y con el paquete RStudio software (vs 4.0.3).

5. RESULTADOS

Se llevaron a cabo dos análisis estadísticos distintos: el primero enfocado a los resultados de los experimentos microbiológicos de las muestras de comida canina; el segundo, centrado en el estudio del bienestar y la calidad de vida del perro como mascota.

5.1 Análisis microbiológico de las muestras

Para abordar de manera estratégica el análisis de estos resultados, se clasificaron los datos obtenidos en:

a) Datos cuantitativos, que son aquellos para los que se determinaron los valores de concentración (unidades formadoras de colonias por gramo de alimento; de ahora en adelante ufc/g) y que corresponden a bacterias aerobias totales, enterobacterias, *Clostridium* spp. y hongos.
b) Datos cualitativos, que corresponden con bacterias para las que las normas microbiológicas indican su valoración con presencia o ausencia (*SalmonellaShigella* spp. y *Listeria monocytogenes*).

5.1.1 Determinación cuantitativa de microorganismos

• Bacterias aerobias totales:

Como se observa en la Figura 10, **la comida cruda presenta un valor medio de ufc/g mucho más elevado de bacterias aerobias totales** (5,47 × 10 8 ufc/g) que la comida seca (7,83 × 10 2 ufc/g) y húmeda. En este último tipo de comida, en ninguna de las placas analizadas se encontraron bacterias aerobias totales. El análisis de Kruskal-Wallis (K-W) (Tabla 1), indicó que las diferencias entre los tipos de comida fueron estadísticamente significativas (estadístico K-W H= 18,9; P<0,0001). En este caso, entre las tres categorías de alimentación, tal y como muestra la diferencia significativa (p<0,05) de sus rangos medios (representada en el análisis de K -W con letras que difieren) (Tabla 2).

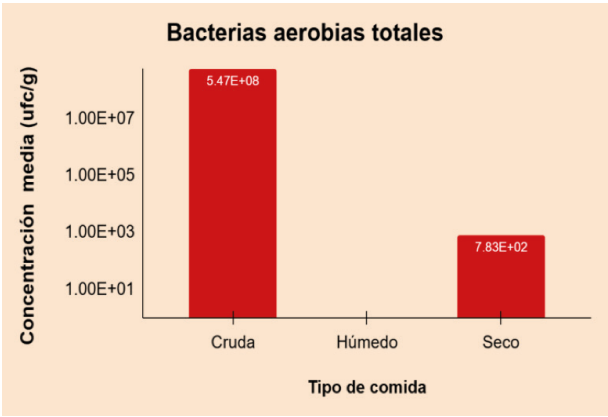


Figura 10.- Gráfica de barras que muestra la concentración media (ufc/g) de bacterias aerobias totales en función del tipo de comida (Elaboración propia).

Tabla 1.- Prueba de Kruskal-Wallis de bacterias aerobias totales (InfoStat vs 2020). D.E: desviación estándar. H: estadístico de Kruskal-Wallis. p: nivel de significación.

Variable	Tipo	N	Media	D.E.	Mediana	H	P
ufc/g	Cruda	6	5,47x 10^8	1,24 x 10^8	5,95 x10^8	18,9	<0,0001
ufc/g	Húmedo	12	0,00	0,00	0,00		
ufc/g	Seco	12	7,83x 10^2	9,11 x10^2	4x10^2		

Tabla 2.-Prueba de rangos medios de K-W para el análisis de bacterias aerobias totales (InfoStat vs 2020).

Tratamiento	Rangos	Diferencia significativa
Húmedo	8,50	A
Seco	16,50	B
Cruda	27,50	C

Las Figuras 11 y 12 muestran ejemplos del crecimiento macroscópico en superficie en placa de TSA de las bacterias aerobias totales.

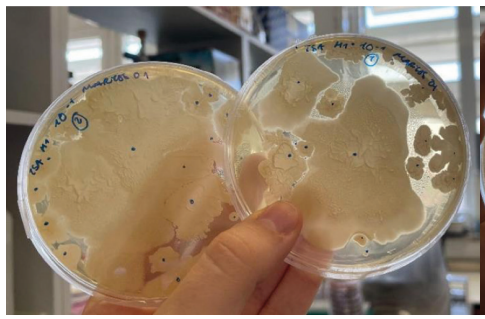


Figura 11.- Muestra 1, dilución 10 - 1 (réplicas 1 y 2) sembrada en placa de TSA para el aislamiento y recuento de bacterias aerobias totales (Elaboración propia).

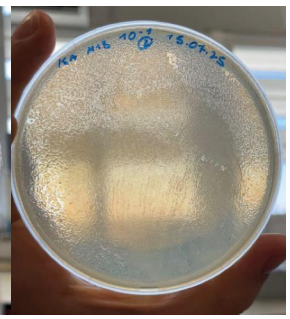


Figura 12. -Muestra 13, dilución 10- [1] (réplica 2) sembrada en placa de TSA para el aislamiento y recuento de bacterias aerobias e TSA- Bacterias aerobias totales (Elaboración propia).

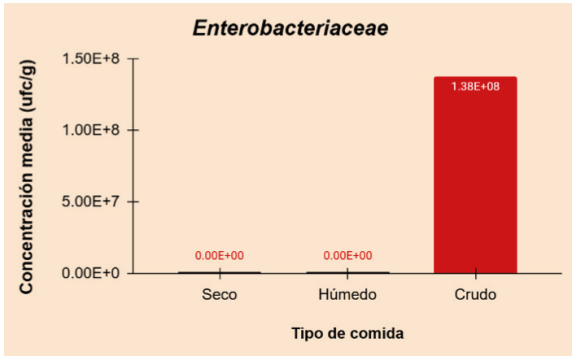


Figura 13.- Gráfica de barras que muestra la concentración media de enterobacterias (ufc/g) en función del tipo de comida (Elaboración propia).

• Enterobacterias:

La figura 13 muestra que en la comida cruda se detectó una presencia de enterobacterias notablemente elevada (1,38 × 10 8 ufc/g) y estadísticamente significativa frente a los valores nulos de la comida seca y húmeda (estadístico K-W H=14,01; p<0,0001; Tabla 3) lo que indica que **el tipo de comida sí influyó en la cantidad de ufc/g de enterobacterias**. No se observaron diferencias significativas entre el tipo seco y húmedo (ambos comparten la misma letra A: p>0,05; Tabla 4). La Figura 14 muestra el crecimiento de enterobacterias en placa y la Figura 15 es una micrografía de tinción de Gram de un aislado bacteriano crecido en estas placas.



Figura 14.- Muestra 13, dilución 10^{-3} (réplica 2) sembrada en placa de agar MacConkey para el aislamiento y recuento de Enterobacterias (Elaboración propia)

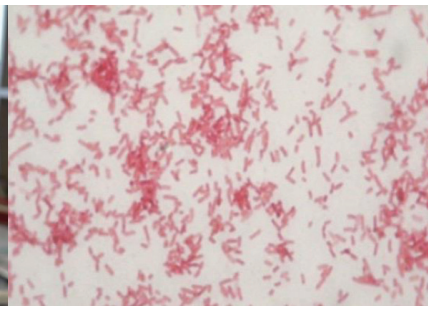


Figura 15.- Muestra 15, Tinción de GramEnterobacterias. Se muestra la morfología bacilar y Gram negativa (rosa) de estas bacterias (Elaboración propia).

Tabla 3.- Prueba de Kruskal-Wallis de enterobacterias (InfoStat vs 2020). D.E: desviación estándar. H: estadístico de Kruskal-Wallis. p: nivel de significación.

Variable	Tipo	N	Media	D.E.	Mediana	H	P
ufc/g	Cruda	6	1,38 x10^{8}	2,1x 10^{8}	3,8 x10^{6}	14,01	<0,0001
ufc/g	Húmedo	12	0,00	0,00	0,00		
ufc/g	Seco	12	1,67x 10^{1}	5,7 x10^{1}	0,00		

Tabla 4. - Prueba de rangos medios de K-W para enterobacterias (InfoStat vs 2020).

Tratamiento	Rangos	Diferencia significativa
Húmedo	12,00	A
Seco	13,00	A
Cruda	27,50	B

• ***Clostridium* spp:** En cuanto a la determinación de ufc/g de *Clostridium* spp., en la Figura 16 podemos observar de nuevo que el tipo crudo posee un valor medio más elevado (9,07 × 10 7 ufc/g) que el seco y húmedo. Igual que en los casos anteriores, **el tipo de comida también ejerció efecto en la presencia de *Clostridium* spp**. (K-W H= 14,25; p<0,0001; Tabla 5) mostrando sólo diferencias significativas entre la cruda (letra B) frente a la húmeda y seca, que comparten letra A (Tabla 6). Las Figuras 17 y 18 muestran placas sembradas de Agar SPS de *Clostridium* spp., y la Figura 19 una tinción de Gram, gracias a la cual pudimos confirmar la presencia de *Clostridium* porque se corresponde con la morfología y Gram propios del género.

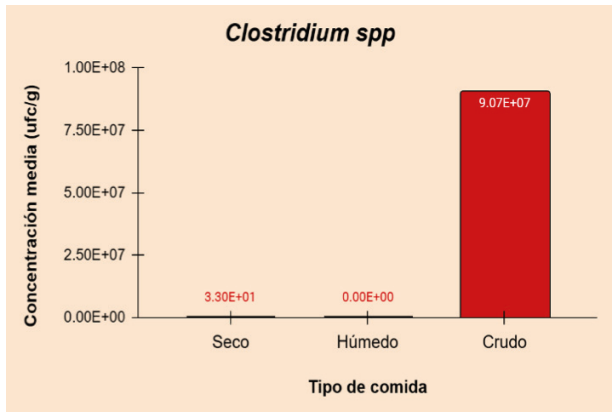


Figura 16.- Gráfica de barras que muestra la concentración media de Clostridium spp. (ufc/g) en función del tipo de comida (Elaboración propia).

Tabla 5.- Prueba de Kruskal-Wallis de *Clostridium* spp. (InfoStat vs 2020). D.E: desviación estándar. H: estadístico de Kruskal-Wallis. p: nivel de significación

Variable	Tipo	N	Media	D.E.	Mediana	H	P
ufc/g	Cruda	6	9,07x 10^{7}	4,08 x10^{8}	5,95 x10^{8}	14,25	<0,0001
ufc/g	Húmedo	12	0,00	0,00	0,00		
ufc/g	Seco	12	3,3x 10^{1}	7,7 x10^{1}	0,00		

Tabla 6.- Prueba de rangos medios de K-W para *Clostridium* spp. (InfoStat vs 2020).

Tratamiento	Rangos	Diferencia significativa
Húmedo	11,50	A
Seco	13,50	A
Cruda	27,50	B

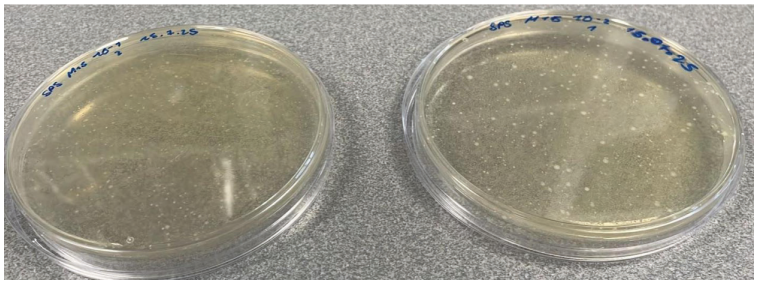


Figura 17.- Muestra 15, dilución 10 - 1 (izq.) y dilución 10 - 2 (dcha) sembrada en placa de agar SPS para el aislamiento y recuento de *Clostridium* spp. (Elaboración propia).

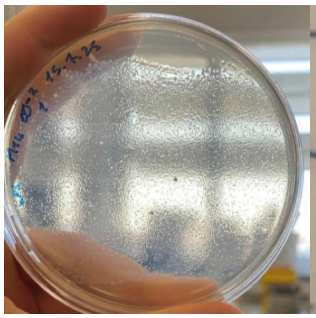


Figura 18.- Muestra 14, dilución 10- 2 (réplica 1) sembrada en placa de Agar SPS para el aislamiento y recuento de *Clostridium* spp. (Elaboración propia).

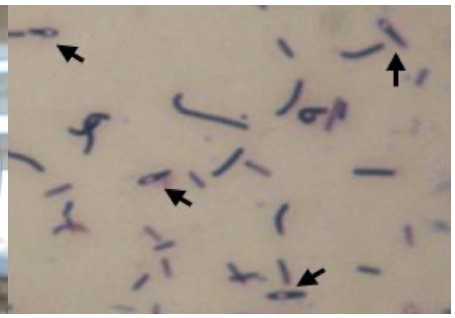


Figura 19.- Muestra 1, Tinción de Gram de colonia aislada de placas de Agar SPS. Las flechas señalan la endospora deformante de *Clostridium* spp. (Elaboración propia).

• Hongos filamentosos y levaduras:

La Figura 20 refleja la concentración de hongos (hongos filamentosos y levaduras) encontrada en los tres tipos distintos de alimentación, destacando **la abundancia elevada de hongos filamentosos y levaduras en el tipo de comida cruda** (7,89 × 10 4 ufc/g) frente a los valores muy bajos o nulos del seco y húmedo (2,50 × 10 1 y 0,00, respectivamente). Esta constatación se ajusta con el valor estadístico H=14,63 y p <0,0001 expuesto en la Tabla 7 y con los rangos medios indicados en la Tabla 8, donde se refleja que el tipo seco y húmedo no son significativamente diferentes (comparten la misma letra A), a diferencia de la comida cruda que sí lo es (p<0.05).

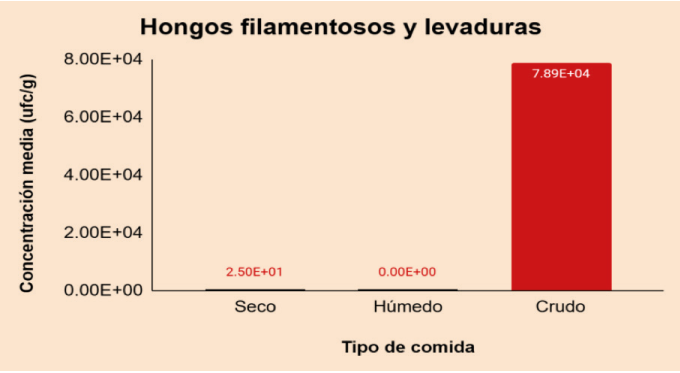


Figura 20.- Gráfica de barras que muestra la concentración media de hongos filamentosos y levaduras (ufc/g) en función del tipo de comida (Elaboración propia).

Tabla 7.- Prueba de Kruskal-Wallis para hongos filamentosos y levaduras (InfoStat vs 2020). D.E: desviación estándar. H: estadístico de Kruskal-Wallis. p: nivel de significación.

Variable	Tipo	N	Media	D.E.	Mediana	H	P
ufc/g	Cruda	6	7,88x 10^4	1,2 x10^5	1,25 x10^3	14,63	<0,0001
ufc/g	Húmedo	12	2,5 x10^1	4,5x 10^1	0,00		
ufc/g	Seco	12	0,00	0,00	0,00		

Tabla 8. -Prueba de rangos medios de K-W para hongos filamentosos y levaduras (InfoStat vs 2020).

Tratamiento	Rangos	Diferencia significativa
Húmedo	11,00	A
Seco	14,00	A
Cruda	27,50	B

5.1.2 Análisis cualitativo de *Salmonella-Shigella* spp. y *Listeria monocytogenes*

Con respecto a las bacterias patógenas que se evalúan por presencia o ausencia, se determinó el porcentaje de positivos en función del tipo de comida.

• *Salmonella-Shigella*: La Figura 22 muestra que las placas sembradas en el medio *Salmonella-Shigella*, tanto de pienso seco como de comida húmeda, no presentaron crecimiento bacteriano. En cambio, **las seis placas sembradas de comida cruda dieron positivo en crecimiento, constituyendo por tanto el 100% del total de las muestras analizadas** (Fig. 21).

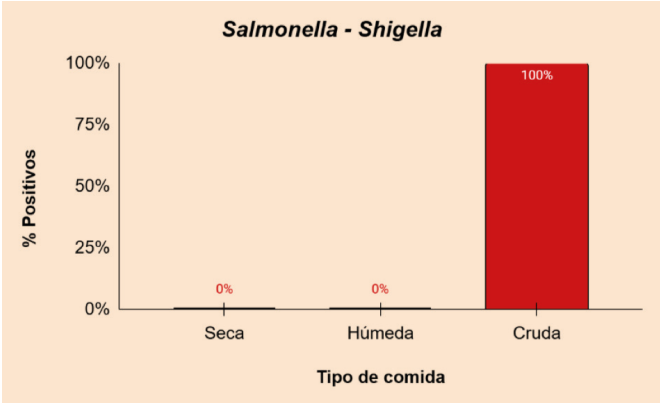


Figura 21.- Porcentaje (%) de positivos de *Salmonella* y/o *Shigella* spp. en los distintos tipos de comida (Elaboración propia).

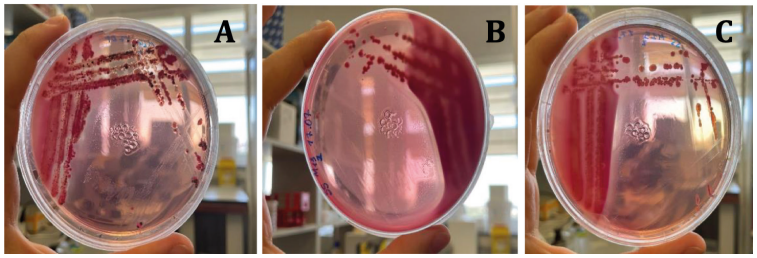


Figura 22.- Agotamientos de asa en placa mostrando positivos para *Salmonella-Shigella* (A: Muestra 13; B: Muestra 14; C: Muestra 15. (Elaboración propia).

• ***Listeria monocytogenes*:** En las placas sembradas en agar Palcam, **no se detectó crecimiento de esta bacteria patógena en la comida cruda, mientras que el 50% de las muestras de comida seca y el 30% de tipo húmedo fue positiva para la presencia de *L. monocytogenes*** (Fig. 23).

Para confirmar la presencia de esta bacteria patógena tan relevante para la salud pública, se procedió a la identificación molecular de las colonias aisladas presuntamente de *L. monocytogenes*, que fueron seleccionadas en base a la descripción de la norma ISO 11290 (2017).

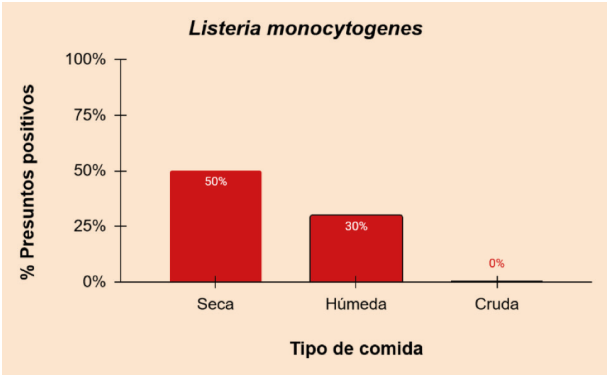


Figura 23.- Porcentaje (%) de presuntos positivos de *Listeria moncytogenes* spp. en los distintos tipos de comida (Elaboración propia).

Dicha norma expone que las colonias correspondientes a esta bacteria patógena son de color verde-grisáceo con el centro y halo negro. La Figura 24 muestra las placas seleccionadas para la extracción de ADN, amplificación por PCR y posterior secuenciación molecular siguiendo los protocolos detallados en el apartado de Material y Métodos.

La Figura 25 muestra el gel de electroforesis de los productos de PCR, donde se pueden observar las bandas correspondientes al ADN amplificado.

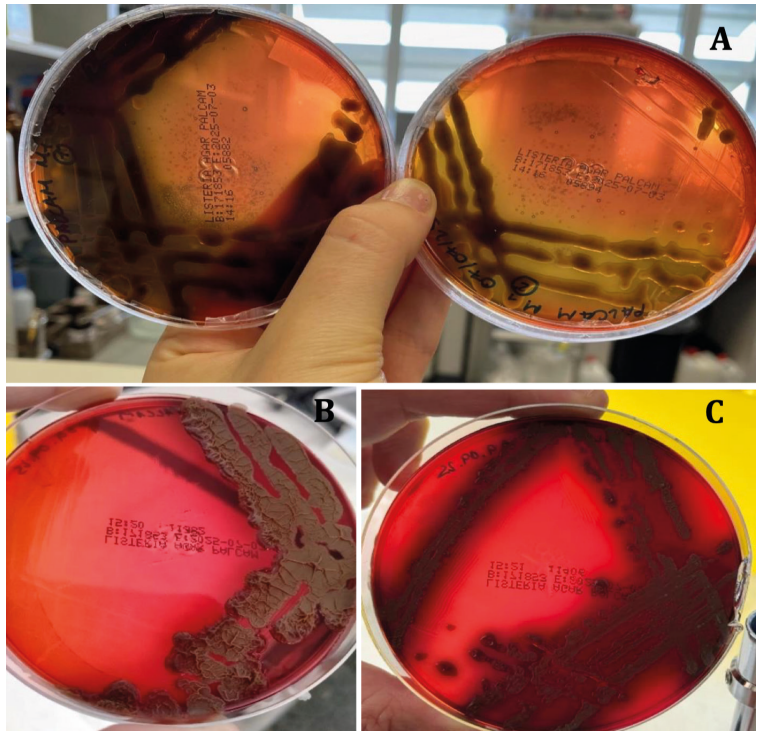


Figura 24.- Agotamientos de asa en placa mostrando los positivos para *Listeria monocytogenes* en medio Palcam (A: Muestra 1; B: Muestra 5; C: Muestra 6 (Elaboración propia).

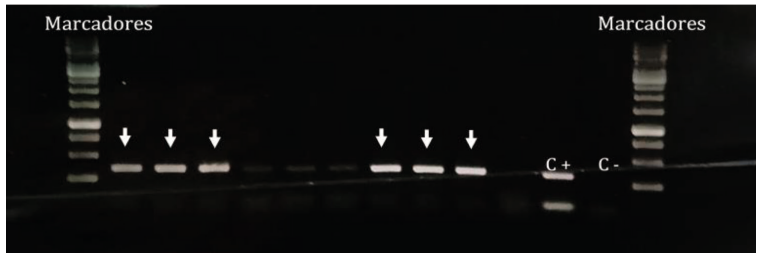


Figura 25.- Fotografía del gel de agarosa que muestra las bandas de ADN amplificadas de los productos de PCR de tres colonias positivas de presuntiva *L. monocytogenes* aisladas de agar Palcam sembrado con muestras de pienso seco (Elaboración propia).

Los resultados de la secuenciación (método de Sanger) mostraron que los aislados de la presuntiva *L. monocytogenes* tenían alta identidad (>98%) con especies del género *Bacillus* y no de *Listeria*.

5.2 Análisis del cuestionario

A continuación, se muestran los resultados del examen detallado del cuestionario abordando su descripción según el tipo de variables recogidas.

5.2.1 Descriptiva poblacional

El cuestionario a partir del cual estudiamos indicadores del bienestar del perro se rellenó por 110 personas de distintos municipios, de los cuales destacaron Guadarrama (37,3%), Collado Mediano (14,5%), El Escorial (10,9%) y Los Molinos (10,9%), como se muestra en la Figura 26. La edad de los encuestados comprendió entre 16 y 67 años, adoptando valores de 31,8% (menos de 20 años), 16,32% (entre 20 y 40 años) y 51% (mayores de 40 años). También existió una gran variabilidad en cuanto a la edad del perro, como se refleja en la Figura 27. La edad de los perros osciló en su mayoría entre los 3 y los 7 años. Por último, los resultados sobre el sexo del perro reflejaron un porcentaje muy similar (50.9% hembras; 49.1% machos), como se muestra en la Figura 28.



Figura 26.- Gráfico de sectores mostrando el municipio de procedencia de los encuestados (en porcentaje) (Elaboración propia).



Figura 27.- Gráfico de sectores mostrando la edad de los perros de los encuestados (Elaboración propia).



Figura 28.- Gráfico de sectores mostrando el sexo de los perros (Elaboración propia).

5.2.2 Descriptiva cualitativa

Se realizó un análisis descriptivo de patrones semánticos para dos preguntas fundamentales acerca de la salud y bienestar canino. En primer lugar, se muestra un análisis cualitativo de las respuestas a la pregunta a los encuestados sobre qué entienden por el término "microbiota". Un 15,45% (17 personas) no había oído hablar nunca del término, un 4,55% respondió que tal vez, pero sin describirlo, y la mayoría (88 personas) sí conocían el término, constituyendo el 80% de los encuestados.

La mayor parte de las respuestas asociaron el término microbiota a un conjunto de microorganismos, especialmente las bacterias: "Conjunto de microorganismos que …" o "Los grupos de bacterias…". No obstante, aunque en la microbiota sí habitan principalmente bacterias, engloba también a arqueas, hongos, virus y protozoos; por tanto, es erróneo describirla únicamente integrada de bacterias.

A su vez, la gran mayoría ubica la microbiota en el intestino o tracto gastrointestinal: "Son los microorganismos que tenemos en el intestino…" u "Organismos en el intestino". Aquí también se muestra conocimiento parcialmente correcto; la microbiota realmente se encuentra en todo el cuerpo, en la piel o en la vagina, por ejemplo, si bien los ecosistemas más complejos y diversos son el intestinal y el oral. Un escaso número de encuestados lo reconoció así: "Los microorganismos que viven en nuestro cuerpo".

Por último, cabe resaltar los errores conceptuales percibidos para el término microbiota. En la propia pregunta se mencionó el término "flora intestinal" debido a su mayor popularidad en la sociedad. Sin embargo, denominar flora a los microorganismos del cuerpo es completamente incorrecto dado que estos no pertenecen al mundo vegetal, no son flora. Asimismo, respuestas como "cuidar el intestino" o "microorganismos beneficiosos" también son parcialmente incorrectas ya que la microbiota también incluye bacterias patógenas, bien de alto riesgo o bien "oportunistas" como *Streptococcus pneumoniae* o *Staphylococcus epidermidis* (López-Goñi, 2019), lo importante es cuidar de la microbiota para favorecer al resto del organismo.

Por otra parte, se describe un análisis cualitativo de las respuestas a la pregunta a los encuestados de si han observado algún cambio en el comportamiento de su perro y, en caso positivo, de cuál se trata y como ha sido tratado. Un

19% de los encuestados (21 personas) indicaron problemas y/o cambios de comportamiento. Los problemas más comunes son de alimentación y digestión (por ejemplo, pérdida de apetito); ansiedad y miedo (por separación o a otros perros, llantos, inseguridad); y cambios físicos o emocionales debidos a edad o lesiones (energía reducida, recuperación de lesiones).

Asimismo, se observa una tendencia positiva gracias a la intervención y asesoría de cuidadores, adiestradores y veterinarios, lo que refleja una consciencia social y actitud empática hacia el bienestar animal. Esto se refleja en respuestas tales como: "Se rompió el húmero, 3 ligamentos y tras operarla tuvo que hacer reposo, paseaba poco y con correa y le dio una ansiedad fuerte lo rompía todo [...] poco a poco fue aumentando su actividad y le daba unas pastillas contra la ansiedad, después de un año está perfecto", "Pérdida de apetito, acudiendo al veterinario, cambio de comida a dieta más blanda" o "Cursos con adiestradores".

5.2.3 Análisis estadístico multivariante

Al haber muchas variables en el cuestionario se identificaron las que parecían estar más relacionadas mediante un enfoque de Bosque Aleatorio, y se seleccionaron de ellas las variables relacionadas con la salud del perro: presencia de Problemas Digestivos (diarrea y vómito), desarrollo de alguna Enfermedad y Cambios en el Comportamiento. Estas tres variables se tomaron como variables dependientes o respuesta, mientras que se consideraron variables independientes o explicativas: Municipio, Raza, Paseo, Castrado, Vacuna, Tipo de Comida, Elección de la comida, Veces de Comida al Día, Edad de la Persona y Edad del Perro.

El objetivo de este análisis fue explorar si las diferentes variables o condiciones independientes afectan o no a la salud general del perro (variables dependientes) mediante un Análisis de Redundancia (RDA). Para realizar este análisis, las variables dependientes, que en un inicio son categóricas (cualitativas), deben transformarse en numéricas. Esto se consigue mediante un Análisis Factorial de Datos Mixtos (FAMD) que, en este caso, hace un análisis de correspondencias múltiples (MCA) para las variables categóricas.

Los dos primeros factores (componentes) del FAMD explicaron el 76% de la varianza (variabilidad). La contribución de cada variable a cada componente se representa en las Figuras 29 y 30.

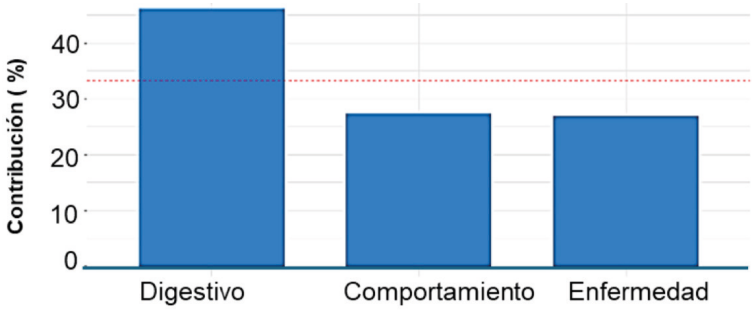


Figura 29.- Gráfica de la contribución de las variables al Componente 1 del FAMD. Eje y: contribución (%); Eje x: variables dependientes (Digestivo, Comportamiento y Enfermedad) (Elaboración propia).

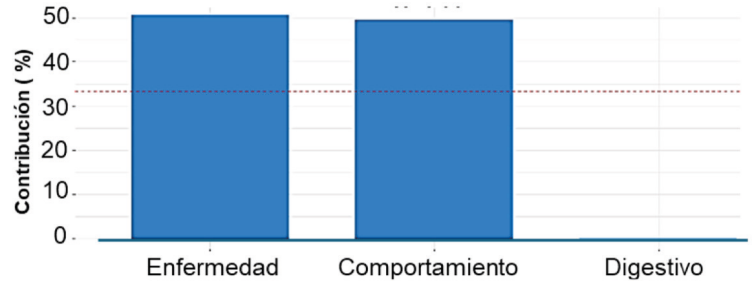


Figura 30.- Gráfica de la contribución de las variables al Componente 2 del FAMD. Eje y: contribución (%); Eje x: variables dependientes (Digestivo, Comportamiento y Enfermedad) (Elaboración propia).

La línea roja discontinua mostrada en las Figuras 29 y 30 indica la proporción de varianza que se explica por puro azar, de manera que las variables que sobrepasan dicha línea contribuyen mucho a esa componente y las que están por debajo no. Así, a la primera componente (Figura 29) contribuye sobre todo la presencia de problemas digestivos; mientras que a la segunda componente (Figura 30) lo hace el haber sufrido una enfermedad y mostrar cambios de comportamiento. El peso de estas variables dependientes en cada componente se toma como valores numéricos para poder realizar el RDA. Para cada variable dependiente, el RDA realiza una regresión con las variables independientes. Dichas regresiones corresponden a las componentes RDA1 y RDA2, ortogonales entre sí, que se refieren a la varianza explicada por la correlación entre variables independientes y dependientes.

Tabla 9.- Varianza explicada y varianza acumulada de los componentes del Análisis de redundancia (RDA 1 y RDA2).

Varianza	RDA1	RDA2
Porcentaje de la Varianza explicada	43,01%	28,98%
Porcentaje de la Varianza acumulada	43,01%	72,00%

Como se observa en la Tabla 9, las variables independientes explican el 72% de la variabilidad total de las variables dependientes; el primer eje explicó un 43% y el segundo un 28,9%. Al realizar un Análisis de la Varianza (Anova), sólo el primer eje (p=0,044) resultó significativo. El Anova con las variables independientes, mostró que el tipo de comida y la elección de la comida eran significativas, es decir afectan a las variables dependientes. Otras variables independientes próximas a la significancia (la edad de la persona, la raza y el paseo) podrían contribuir a la variabilidad, así que se incluyeron también en el modelo (Tabla 10).

Tabla 10.- Anova de variables independientes mostrando aquellas significativas. Df: grados de libertad; F: estadístico Anova: p: nivel de significación.

Variable independiente	Df	Varianza	F	P
Municipio	13	0,20218	0,9511	0,506
Raza	34	0,73266	1,3179	0,113
Paseo	6	0,15909	1,6215	0,120
Castrado	1	0,01365	0,8349	0,440
Vacuna	2	0,00714	0,2182	0,917
Comida	**9**	**0,29573**	**2,0095**	**0,024 ***
Elección_comida	**3**	**0,12390**	**2,5257**	**0,021 ***
Edad_persona	1	0,03891	2,3793	0,087
Edad_perro	1	0,00124	0,0760	0,933
Veces_comida_día	1	0,02303	1,4084	0,261
Residual	38	0,62136		

A continuación, se construyó un modelo de regresión logística con las cinco variables independientes significativas (o cercanas a la significación) obtenidas en el RDA (tipo de comida, elección de la comida, edad de la persona, raza y cómo es el paseo) y las variables dependientes (enfermedad, problemas digestivos (diarrea y vómito), y cambios en el comportamiento). Se siguió una estrategia de modelización hacia atrás, que consistió en plantear un modelo inicial con las cinco variables independientes anteriores e ir eliminando del modelo de regresión aquella variable no significativa (p<0,05) siempre que la ausencia de ésta no afectará a la estimación obtenida del efecto de las otras variables.

En el modelo **ENFERMEDAD** (Tabla 11) apareció un efecto significativo del tipo de comida y la elección de la comida; la variable raza se mantuvo porque la estimación del efecto de las otras variables es más precisa.

Tabla 11.- GLM (Modelo Lineal Generalizado de regresión logística) para la variable dependiente Enfermedad. χ^2: Chi-cuadrado; p: nivel de significación.

Variable Dependiente: ENFERMEDAD		
	χ^2	p
Raza	47,599	0,06080
Comida	**21,119**	**0,01213**
Elección_comida	**9,222**	**0,02648 ***

Para estudiar mejor las variables, estas se desglosaron en sus diferentes niveles (Tabla 12) y se eligió una como referencia. En el caso de la comida, existen cuatro: húmeda, seca, cruda y casera, y se tomó como referente la comida seca, ya que fue la opción más elegida en el cuestionario

Tabla 12.- GLM (Modelo Lineal Generalizado de regresión logística) final que refleja la relación entre las variables independientes y la enfermedad). χ^2: Chi-cuadrado; p: nivel de significación; OR: Odds ratio.

Variable Dependiente: ENFERMEDAD			
	χ^2	p	OR
Raza	43,997	0,11711	
Comida_Húmeda	**5,622**	**0,01774 ***	**8,20**
Comida_Cocinada	0,660	0,41671	
Comida_Cruda	0,994	0,31888	
Elección_comida	**8,075**	**0,04448 ***	**-**

La Tabla 12 muestra que existe un efecto significativo de la comida húmeda. El odds ratio (OR) - que es el cociente entre la probabilidad de que suceda un evento y la probabilidad de que no suceda con respecto a un suceso de referencia - fue para la comida húmeda de 8,2, es decir, que la probabilidad de sufrir una enfermedad se multiplica por más de 8 veces al ingerir comida húmeda cuando se compara con la comida seca (la elegida como referencia).

Hay que mencionar que no se tuvo en cuenta la descomposición de los distintos niveles de la elección de comida (calidad, precio, recomendación del veterinario) porque se perdía gran cantidad de tamaño muestral y por ello potencia estadística, de forma que los valores ya no rendían significativos.

En el modelo **PROBLEMAS DIGESTIVOS** (Tabla 13) la única variable independiente significativa es la edad de la persona (p=0,0002).

Tabla 13.- GLM (Modelo Lineal Generalizado de regresión logística) para la variable dependiente Problemas digestivos. χ^2: Chi-cuadrado; p: nivel de significación; OR: Odds ratio.

Variable Dependiente: PROBLEMAS DIGESTIVOS			
	χ^2	p	OR
Edad_persona	**14,055**	**0,0001775 *** **	**0,95**

Atendiendo al odds ratio (OR), por cada año que tenga el dueño, la probabilidad de tener problemas digestivos se multiplica por 0.95, es decir, se reduce.

En el modelo **CAMBIOS DE COMPORTAMIENTO** (Tabla 14) fueron significativas la forma de pasear y la elección de comida.

Tabla 14.- GLM (Modelo Lineal Generalizado de regresión logística) para la variable dependiente Cambios de comportamiento. χ^2: Chi-cuadrado; p: nivel de significación.

Variable Dependiente: CAMBIOS DE COMPORTAMIENTO		
	χ^2	p
Raza	41,642	0,172408
Paseo	**13,314**	**0,038309 ***
Elección_comida	**13,198**	**0,004227 ****

Para estudiarlo con más profundidad, se descompusieron las variables en sus diferentes tipos (Tabla 15). En el caso del paseo, en pasear atado, libre o suelto en el jardín, eligiendo como referente el pasear atado. Al igual que sucedió con el modelo GLM de enfermedad, al descomponer la elección de la comida en sus distintos niveles se perdía gran cantidad de tamaño muestral y, por ende, los valores salían no significativos. Por ello, se optó por no descomponer esta variable tampoco en este caso.

Tabla 15.- GLM (Modelo Lineal Generalizado de regresión logística) final que refleja la relación entre las variables independientes y los cambios de comportamiento. χ^2: Chi-cuadrado; p: nivel de significación; OR: Odds ratio.

Variable Dependiente: CAMBIOS DE COMPORTAMIENTO			
	X^2	p	OR
Eleccion_comida	**8,3040**	**0,04013 ***	**-**
Paseo_Jardin	**5,3226**	**0,02105 ***	**3,38**
Paseo_Libre	2,0200	0,15524	

Por un lado, los resultados indican que sólo existió efecto significativo de estar en el jardín y por tanto no hubo diferencias entre pasear atado o libremente (Tabla 15). El odds ratio (OR) fue de 3,38, indicando que la probabilidad de sufrir cambios de comportamiento se ve aumentado más de 3 veces al dejar al perro suelto en el jardín en comparación con pasear atado (el referente).

6. DISCUSIÓN

En la actualidad, el número de mascotas – especialmente perros y gatos – está aumentando progresivamente alrededor del mundo. Las estadísticas indican que el 25% de hogares europeos posee al menos un perro y que hay un total de 90 millones de perros en Europa (FEDIAF, 2025). Este fenómeno se intensificó particularmente durante la pandemia de COVID-19, dado que vivir con una mascota puede ayudar a aliviar factores estresantes físicos, emocionales, psicológicos y sociales (Rauktis & Hoy-Gerlach, 2020). Paralelamente al incremento de mascotas, el mercado de alimentos destinados a ellas también está evolucionando y profundizando en múltiples aspectos, tales como la investigación en los riesgos microbiológicos.

Este estudio ha demostrado, hasta lo que sabemos por primera vez en nuestro país, que la seguridad alimentaria microbiológica canina debería ser una preocupación importante, especialmente en la comida cruda (dieta BARF). Prácticamente todos los resultados que hemos obtenido apuntan a que la alimentación cruda carece de un proceso de fabricación y/o control de calidad adecuados. Esto se observa en que todos los indicadores estándar de contaminación alimentaria microbiana en comida cruda sobrepasan el límite recomendado o establecido.

La media de bacterias aerobias totales presentes en las muestras crudas analizadas fue de $5{,}47\times10^8$ ufc/g, excediendo el límite máximo de 3×10^6 ufc/g según Kukier *et al* (2012). Estudios como el de Solís *et al* (2022) también revelaron que la comida cruda presentaba gran concentración de bacterias aerobias totales, encontrando valores fuera del margen permitido en 31 de 42 muestras analizadas (73,81%).

A su vez, las muestras crudas presentaron valores medios de $3{,}80\times10^6$ (muestra 13), $4{,}10\times10^8$ (muestra 14) y $4{,}95\times10^4$ (muestra 15) de ufc/g de *Enterobacteriaceae*, superando el límite de 5×10^3 ufc/g establecido por el Reglamento de la UE N.º 142/2011 (2011). Estos resultados coinciden con otros estudios como el de Morgan et al (2024), donde el 30,9% (34 de 110) de las muestras crudas no cumplió con los estándares microbiológicos de *Enterobacteriaceae* establecidos por la UE.

Según el Grupo Omega de Nutrición Animal (2018), la presencia de *Clostridium* spp. debe ser igual o menor a 10 ufc/g. En este caso, la media es $9{,}07\times10^7$ ufc/g, valor que claramente supera el límite. De hecho, se consideran peligrosas las concentraciones a partir de las 10 4 ufc/g; por tanto, la presencia de *Clostridium* spp. en la comida cruda analizada en nuestro estudio se clasifica como patógena.

Con respecto a los hongos (hongos filamentosos y levaduras), las tres muestras crudas estudiadas presentaron medias de 4×10^2 , $2{,}35\times10^5$ y $1{,}25\times10^3$ ufc/g, respectivamente, la segunda de ellas excediendo el valor permitido de 104 ufc/g. (Hadid *et al*., 2024).

En cuanto a las especies de *Salmonella* y *Shigella*, todas las muestras de la dieta BARF presentaron crecimiento tras

incubación en los medios de cultivo, aunque no se llegaron a identificar las especies para diferenciarlas. La presencia de especies de *Salmonella–Shigella* en alimento canino no sólo implica una cuestión de seguridad animal, sino de zoonosis, pudiendo transmitirse estas bacterias de perros a humanos mediante la manipulación de la comida, al tocar al perro o superficies contaminadas, o contribuyendo a la contaminación del medio ambiente mediante la expulsión de *Salmonella-Shigella* a través de las heces del animal. Estudios previos también detectaron la presencia de especies del género *Salmonella* en dieta BARF o RMBD (*Raw Meat Based Diets*, traducido al castellano como "Dieta basada en Carne Cruda"), como aquellos de Van Bree *et al* (2018) que la hallaron en 7 de sus 35 muestras analizadas, o Indra *et al* (2025) en 35 de sus 50 muestras.

En contraste con lo esperado, las muestras crudas no presentaron crecimiento de *Listeria monocytogenes*, a diferencia de otros estudios como el de Solís *et al* (2022) donde 15 de sus 42 muestras estudiadas fueron positivas o el de Van Bree *et al* (2018) que encontraron *Listeria monocytogenes* en más de la mitad de sus muestras.

Una explicación a la ausencia de *L. monocytogenes* en nuestra investigación podría estar relacionada con la producción de sustancias antimicrobianas por parte de otras bacterias con las que compite por recursos. En este sentido, estudios previos (García, Gil & Botero Mazo, 2018) han demostrado que la nisina, una bacteriocina que es producida de forma natural por algunas especies bacterianas como *Lactobacillus plantarum*, tiene efecto inhibitorio sobre el crecimiento de *L. monocytogenes*. Aunque no tenemos prueba experimental de ello en este estudio, sí que resaltamos el interés por explorar la utilización de bacteriocinas como aditivos alimenticios naturales.

Con respecto a la comida seca y húmeda, sus concentraciones microbianas no presentaron diferencias significativas para hongos, enterobacterias ni *Clostridium* spp., apareciendo en los tres grupos valores cercanos al 0 o directamente ausentes; ambos tipos de dieta coinciden también en la ausencia de *Salmonella-Shigella*. No obstante, sí difirieron en la concentración de bacterias aerobias totales, donde las muestras de pienso seco presentaron un valor medio significativamente más elevado que el de las muestras de comida húmeda. Aun así, tanto en las muestras húmedas como en las secas, no se superaron los límites establecidos de 10^6 ufc/g, según Kukier *et al* (2012). Los resultados del presente estudio contrastan con la mayoría de las investigaciones realizadas que comparan la contaminación microbiana de ambos tipos de alimentación, para las cuales un porcentaje significativo sobrepasa el valor permitido y el pienso seco se sitúa en un nivel de mayor riesgo microbiológico. Serhan *et al* (2022) hallaron que 51 de las 165 muestras analizadas presentaban una contaminación de bacterias aerobias totales por encima de 10^4 ufc/g, de las cuales 11 indicaban una contaminación mayor de 10^6 ufc/g. También detectaron Enterobacteriaceae en 50 de las muestras, 27 de ellas sobrepasando el límite de 3×10^2 ufc/g encontradas mayoritariamente en el tipo de comida seca. Estos mismos autores detectaron Salmonella spp. en el 41% de muestras, siendo la mayoría muestras secas. El estudio de Hadid et al (2024) constató que, de 118 muestras secas y húmedas analizadas, el 28% excedió el límite de 10^6 ufc/g de bacterias aerobias totales, el 7% superó el límite de 3×10^2 ufc/g de enterobacterias, el 28% superó el límite de 10^4 ufc/g de hongos, y en el 24% de ellas se detectó contaminación por *Clostridium* spp. Nuestros datos concuerdan con los de Serhan *et al* (2022) únicamente en la ausencia de *Salmonella* spp.

Ahora bien, en la presente investigación se ha determinado que un 50% de las muestras de pienso seco y un 30% de las muestras de comida húmeda presentaron crecimiento en placas sembradas en agar Palcam, medio de cultivo para el aislamiento de *Listeria monocytogenes* recomendado por la norma ISO 11290 (2017). En ella se hace alusión a que el medio agar Palcam es selectivo y diferencial para la detección y aislamiento de especies de *Listeria*. El crecimiento en el medio de colonias de color verde-grisáceo con el centro y halo negro es correspondiente a *L. monocytogenes* (Anexos), mientras que el de *Enterococcus* y *Staphylococcus* son o bien de color gris con un halo verde marrón o bien de color amarillo con un halo amarillo. En nuestras placas observamos crecimiento de todo tipo, y entre ellas seleccionamos las presuntas colonias de *L. monocytogenes*. Para verificar la presencia de *Listeria*, se realizó una identificación molecular mediante secuenciación de la subunidad pequeña del ARN ribosómico, un marcador molecular informativo. Los resultados obtenidos indicaron que

las colonias de las presuntas *L. monocytogenes* pertenecían realmente al género *Bacillus*.

En este sentido, nuestros resultados corroboran los de Angelidis *et al* (2014), que habían ya indicado que el medio de Palcam no sólo permite el crecimiento de *L.monocytogenes*, sino también el de una elevada variedad de especies bacterianas, pertenecientes a los géneros *Enterococcus, Staphylococcus Bacillus, Cellulosimicrobium, Kocuria, Marinilactibacillus* y *Rothia*.

Los resultados de nuestro estudio señalan que hace falta indagar en la incorporación de un medio selectivo más eficiente para el crecimiento de *Listeria*, y quizás también en el de su medio de preenriquecimiento (Fraser).

Asimismo, nuestros resultados llevan a pensar que estudios previos, como el de Hadid *et al* (2024) - que estableció la presencia de *L. monocytogenes* en 44 de las 118 muestras únicamente en función de la apariencia de colonias negras en medio de agar Palcam–, pueden conducir a un conocimiento erróneo y generar alarmas innecesarias al afirmar la presencia de esta bacteria patógena sin haber ratificado su identificación con posteriores ensayos.

Así, el presente estudio pone además de relieve que es fundamental llevar a cabo otros tipos de pruebas más allá del aislamiento en placa, ya sean pruebas bioquímicas, serológicas. o moleculares, como en nuestro caso, para confirmar o desechar la presencia de *L. monocytogenes* de tal manera que no se malinterprete su presencia mediante falsos positivos.

Con relación a las conclusiones extraídas de los resultados del cuestionario "El Bienestar del perro", el análisis descriptivo mostró por un lado que, aunque hubo perros que manifestaron cambios y/o problemas de comportamiento, existe un patrón de progresiva adaptación y resiliencia, especialmente en perros tratados con acompañamiento constante. Y, por otro lado, reveló una comprensión mayoritariamente correcta del término microbiota, destacando características acertadas (presencia en el intestino, naturaleza microbiana y rol beneficioso en la digestión y salud). La microbiota es un tema que en estas últimas décadas ha revolucionado completamente el punto de vista nutricional y psicológico, en general el bienestar, tanto animal como humano. De hecho, cada vez hay más piensos para perros suplementados con probióticos con el fin de mantener una microbiota intestinal sana en los perros. Revisiones bibliográficas como Kielbik & Witkowska-Piłaszewicz (2024) han propuesto investigación futura que relacione cambios indeseados de comportamiento canino y la condición de la microbiota, dada la existencia relevante del eje intestino-cerebro. A su vez, estudios como el de Schmidt *et al* (2018) constatan la relación entre la dieta canina (dieta BARF o comercial) y la microbiota fecal. El efecto del tipo de alimentación en la salud canina no se limita a estos aspectos, sino que, como nos indica una de las conclusiones derivadas de nuestro análisis multivariante, también se pone de manifiesto en el desarrollo de enfermedades. Aunque es necesario verificar esta relación con un mayor tamaño muestral y un estudio experimental que profundice en el tema, nuestros datos exponen que ingerir comida húmeda podría aumentar más de 8 veces la probabilidad de desarrollo de enfermedades en el perro frente al pienso seco. Sin embargo, como se ha indicado, la comida húmeda carece de carga bacteriana efectiva. Varias razones podrían explicar esta correlación. De ellas, las que consideramos más posibles son, por un lado, que los aspectos que intervienen en la aparición de enfermedades o infeccione s sean otros, no directamente asociados con contaminación microbiana en alimentos . En este sentido, estudios como el de Hendriks, Emmens, Trass & Pluske (1999) demostraron que, a medida que el tratamiento térmico en alimentos enlatados aumenta, se reducía la digestibilidad de aminoácidos, lo que limita la capacidad del organismo de sintetizar sus propias proteínas, siendo esta esencial para mantener la respuesta inmune óptima: producción d e anticuerpos, defensa frente a patógenos, etc. (Li, Yin, Li, Woo-Kim & Wu, 2007). Por otro lado, es plausible pensar que no esté relacionado con los microorganismos específicamente analizados en nuestro estudio, sino con otros, dado que numerosas enfermedades como el cáncer son influenciadas directa o indirectamente por la microbiota (El-Sayed, Aleya & Kamel, 2021), al igual que existe evidencia que muestra que alteraciones como alergias alimentarias están asociadas con cambios estructurales y funcionales en nuestra microbiota intestinal (Shu *et al*., 2019). Aun así, es importante reconocer la posibilidad de que no se trate de una causalidad (comer pienso húmedo conlleva al desarrollo de enfermedades), sino de una simple correlación; quizá los perros con alguna patolo-

gía se le recomienda comer pienso húmedo ya que este es mas digerible. Otra correlación significativa que se extrajo del análisis del cuestionario es que padecer de problemas digestivos (diarrea y vómitos) parece verse reducida a medida que el dueño es mayor (las edades de los participantes del cuestionario oscilaron entre 16 y 67 años). De estos resultados se interpreta, por un lado, que podría ser una correlación verídica que se deba a que la gente mayor se tome con más seriedad la salud y dieta de su perro, no participando en actividades cotidianas como ofrecer alimentos prohibidos o procesados (con mucho azúcar o grasas, entre otros); o proporcionando exceso de premios; o a que ejerzan más supervisión y control sobre el perro (quizás detectan más rápido signos de malestar, vigilan si ingieren comida en mal estado, etc.). Por otro lado, hay que tener en cuenta que la dinámica más común es que los encuestados menores de edad vivan con padres u otros familiares mayores; es decir, en el caso de que sí influya la edad del dueño en la posibilidad de tener problemas digestivos, habría que tener en cuenta la edad de todos los familiares con los que convive así como la separación de tareas en la familia con respecto al cuidado de su mascota.

Por último, a partir del análisis estadístico del cuestionario, se constató que la probabilidad de sufrir cambios y/o problemas de comportamiento parece aumentar cuando el perro se deja suelto por el jardín, en lugar de ser paseado. Aunque no haya estudios que analicen exactamente esta relación, es conocimiento general que la actividad física contribuye a un mejor bienestar psicológico y su ausencia contribuye a problemas de comportamiento, como demostró un estudio que explicaba que algunos síntomas como ladridos, lloriqueos y signos de aburrimiento o ansiedad son debidos a una acumulac ión excesiva de energía (IM Veterinaria, 2023). Por tanto, nuestros resultados sobre la influencia del paseo podrían deberse a la falta de estímulos tanto físicos como emocionales que ofrece la rutina del jardín.

7. LIMITACIONES Y MÁRGENES DE ERROR

En nuestro estudio exploratorio hemos identificado diferentes aspectos autocríticos que guiarán tanto las conclusiones de este trabajo como la propuesta de futuras líneas de investigación.

Por un lado, la desviación estándar obtenida para la práctica totalidad de las concentraciones microbianas de cada tipo de comida fue elevada, indicando una gran variabilidad inherente a cada tipo de alimento analizado. Este hecho fue debido a que cada tipo alimenticio se compuso de muestras independientes procedentes en su mayoría de distintas casas comerciales. Para revelar con confianza estadística la existencia o no de patrones estables según el tipo de comida utilizada, proponemos que futuros estudios incluyan las siguientes iniciativas: incrementar el tamaño muestral y el número de réplicas de cada muestra, que permita comparar un mayor número de variables independientes (ej. distintas muestras de la misma casa comercial, distintos lotes, distintas gamas), así como su variación temporal y espacial (ej. fecha de caducidad del alimento, distinta localización geográfica en el territorio nacional).

Por otro lado, siempre existe un margen de error asociado al número de respuestas obtenidas en sondeos poblaciones, que indica la incertidumbre en los resultados de la encuesta. Es decir, que nos revela cómo de representativo sobre la población total es el tamaño poblacional que hemos recogido en la encuesta.

Para nuestra población diana, que es el municipio de Guadarrama (17.000 habitantes censados), considerando un nivel de confianza del 95%, el número de personas recogido con nuestra encuesta tendría que ser de 312 para tener un margen de error del 5% (estándar en encuestas sociales). Con nuestro número de encuestas obtenidas, el margen de error es del 9% que, aunque elevado, es adecuado para una investigación exploratoria y pionera como esta. Nuestro estudio ha permitido establecer tendencias de correlación entre variables cuya estabilidad se pueda contrastar en futuros proyectos a gran escala que abarquen un mayor tamaño poblacional. Para conseguirlo, planteamos estrategias como dar una mayor visibilidad a los medios de difusión del cuestionario (ej. repartir pósteres en mano, en tiendas no solo de animales, en farolas, en casas de cultura, a través de campañas en redes sociales). Además, si bien nuestro cuestionario nos ha permitido recoger información muy diversa, autocriticamos que quizás fuera demasiado extenso de responder (cinco minutos). En estudios posteriores, plantearíamos un diseño de cuestionario más corto y posiblemente con menos preguntas de respuesta abierta,

de forma que el encuestado dedique no más de 2 minutos a rellenarlo. También añadiríamos una pregunta sobre la distribución de las tareas en la familia con respecto al cuidado del perro, dado que el hecho de que nuestros resultados muestren que la edad del dueño influye en los problemas digestivos del animal, también puede depender de quién se encarga en mayor medida de su cuidado.

Además, es relevante ser conscientes de que en cualquier estudio estadístico las correlaciones obtenidas, aunque sean significativas, no implican siempre relación causa-efecto entre las variables. Cuanto mayor sea el tamaño muestral de una investigación, mayor probabilidad existe de confirmar si las tendencias son patrones estables y permanentes.

8. CONCLUSIONES

Tras haber llevado a cabo una investigación sobre la contaminación microbiana en distintos tipos de alimentación canina y sobre el bienestar del perro, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

En relación con la Hipótesis 1: ***La comida cruda presenta mayores concentraciones microbianas que la comida seca y húmeda.***

• Esta hipótesis se ha corroborado con nuestros resultados, pues la comida cruda presenta concentraciones microbianas significativamente mayores que los tipos de alimentación seco y húmedo, así como presencia de bacterias potencialmente patógenas, en concreto especies de *Salmonella-Shigella* y *Clostridium* spp.

• Asimismo, se ha revelado que es necesario establecer un método de cultivo más específico y selectivo para la detección de *Listeria monocytogenes*, puesto que el medio de referencia estándar permite el crecimiento de otras bacterias además de *Listeria* spp.

En relación con la Hipótesis 2: ***El tipo de comida tiene efecto en la salud del perro.***

• Esta hipótesis precisa de posterior investigación para ser validada o refutada. El análisis estadístico de los resultados de personas encuestadas muestra que el tipo de comida impacta en la salud del perro, manifestado por la relación directamente proporcional entre la comida húmeda y el desarrollo de enfermedades. Sin embargo, se precisan estudios con mayores tamaños muestrales, complementados con investigación experimental directa de gradientes dosis-respuesta, para establecer si la relación entre ambas variables es ciertamente causal o únicamente correlativa.

• Las variables sobre salud y hábitos comportamentales del perro, que aparecen relacionadas con factores poblacionales (edad del dueño) y sociales (tipo de paseo) respectivamente, requieren la aplicación del mismo abordaje causaefecto sobre colecciones ampliadas de datos empíricos.

9. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Nuestro trabajo abre varias vías de investigación futuras, entre las que destacamos:

• Realizar un estudio sobre cómo los diferentes tipos de alimentación afectan a la microbiota del perro. Para ello, plantearíamos analizar comparativamente, mediante metagenómica u otras técnicas de secuenciación masiva, las heces de perros alimentados con el mismo y con distinto tipo de comida.

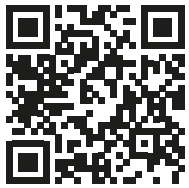
• Conforme al enfoque de Una Sola Salud/*One Health*, la resistencia antimicrobiana implica un riesgo preocupante ya que muchos antimicrobianos que se usan tanto en el ámbito veterinario como en el humano son los mismos, por lo que se potencia la transmisión y permanencia de bacterias resistentes en la biosfera. Por ello, una línea de investigación crucial sería estudiar la resistencia a antibióticos en la comunidad bacteriana de la dieta canina mediante el aislamiento, identificación molecular de colonias bacterianas y pruebas de antibiograma en los tipos distintos de alimento.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



BIBLIOGRAFÍA - Google Docs

11. ANEXOS



Anexos 1.docx - Google Docs



Anexos 2: - Google Docs

Número de oro y diseño gráfico:

Análisis de la proporción áurea en logotipos modernos

Lucía Zaera Peraita

Tutora: Rosa Mª Moraga González

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi tutora, Rosa Moraga, por su guía, su dedicación y por las orientaciones que me ofreció a lo largo del proyecto. Su apoyo y sus consejos han sido fundamentales para mejorar mis ideas y avanzar con seguridad. Gracias por acompañarme en cada etapa de este recorrido.

Mi agradecimiento más personal es para mis padres, por su paciencia infinita, su constante apoyo y ayuda en los momentos de agotamiento a lo largo de este proceso, siempre estuvieron disponibles para escucharme, animarme y recordarme que podía superar cualquier obstáculo. Sin su colaboración, este trabajo no habría sido posible. A mi familia, gracias por creer en mí incondicionalmente y por brindarme el apoyo emocional que tanto necesité durante el trabajo y durante el Bachillerato. También quiero agradecer a mis amigas. Su confianza en mí ha sido una motivación para darme esperanza cuando más lo necesitaba y han logrado sacarme una sonrisa incluso en los momentos más complicados. Su compañía, comprensión y ánimo han tenido un valor incalculable.

Un agradecimiento especial a las 700 personas que respondieron a la encuesta, su participación ha aportado un peso fundamental al desarrollo de este proyecto y además aumentó mi motivación para terminar el trabajo.

A mis compañeros de Bachillerato de Excelencia, gracias por el apoyo, por el ambiente de clase y por hacer que el Bachillerato fuera más llevadero. Estoy convencida de que esta experiencia no habría sido la misma sin ellos.

Finalmente, quiero agradecer al instituto IES GUADARRAMA por ofrecer la oportunidad de realizar trabajos de investigación como este, que fomenta la curiosidad y el crecimiento personal.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....514
2. ABSTRACT.....514
3. INTRODUCCIÓN.....514
3.1 Justificación.....514
3.2 Hipótesis.....514
3.3 Objetivos.....514
3.3.1 Objetivo general.....514
3.3.2 Objetivos específicos.....515
4. METODOLOGÍA.....515
5. MARCO TEÓRICO.....515
5.1. Origen del número de oro.....515
5.2. La proporción áurea aplicada en las matemáticas.....516
5.2.1 Dos Segmentos proporcionales áureos.....516
5.2.2 Rectángulo áureo.....516
5.2.3 La sucesión de Fibonacci y su relación con el número phi.....517
5.2.4 Pentágono áureo y triángulo sublime.....518
5.2.5 Decágono áureo.....518
5.2.6 Ángulo dorado.....518
5.3 El número de oro en la naturaleza.....519
5.4 La proporción áurea en la arquitectura y el arte.....519
5.5 La divina proporción en la fotografía.....521
5.6 El número phi en el diseño de las marcas comerciales.....521
6. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS.....521
6.1. Análisis de logos "Verificados".....521
6.2. DIiseño de logos.....524
6.2.1 Logos de creación propia con proporción áurea.....524
6.2.2 Logos de creación propia sin proporción áurea.....527
6.3. Estudio estadístico sobre la elección de logos.....528
6.3.1 Análisis descriptivo.....528
6.3.2. Análisis de la dependencia o independencia entre variables. Estudio de la Chi Cuadrado.....529
7. CONCLUSIONES Y LIMITACIONES.....533
7.1. Conclusiones.....533
7.2. Limitaciones.....533
8. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....533
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....534
10. ANEXOS.....535

1. RESUMEN

La proporción áurea es un misterio que aparece de manera sorprendente en el universo, aportando equilibrio y armonía a la percepción humana.

En la actualidad, se está empleando la proporción del número de oro en las campañas de marketing y así, de esta manera, poder influir en las decisiones de los consumidores.

En este trabajo vamos a analizar si los logotipos de marcas de primer orden, de distintos sectores, cumplen la proporción áurea y si la sociedad tiene como preferencia o no, los logotipos que contienen el número de oro.

El proceso comenzó haciendo una revisión bibliográfica acerca del número de oro y el aprendizaje del uso de la herramienta GeoGebra. Seguidamente realizamos la parte experimental que se dividió en tres fases.

En primer lugar, se analizó si logotipos como Pepsi, Toyota o Mastercard entre otros, guardaban una relación áurea, dando como resultado que solo dos de los cinco que se analizaron cumplían la proporción con exactitud.

En segundo lugar, se diseñaron con GeoGebra y Canva, cinco logotipos que respetaban la proporción áurea, otros cinco similares que no la cumplían y se hizo uso de dos fotografías.

Por último, se llevó a cabo una encuesta insertando las doce figuras diseñadas anteriormente, para comprobar si la sociedad tiene preferencia por logos diseñados a partir de la proporción áurea.

De los resultados obtenidos de la encuesta y de los resultados aportados por la prueba aplicada del chi cuadrado, se concluyó que la sociedad actual siente preferencia por logotipos que contienen la proporción áurea.

2. ABSTRACT

The golden ratio is a mystery that takes place spontaneously in nature, bringing balance and harmony. In fact, the golden ratio is used in marketing campaigns to influence consumer decisions.

In this project, we will analyze whether the logos of mayor brands from different sectors respect the golden ratio and whether society prefers logos that contain the golden ratio are trendy.

The process began with bibliography research on the golden ratio and a first approach to the GeoGebra tool. We then carried out the experimental part, which was divided into three phases.

First, we analyzed whether logos such as Pepsi, Toyota, and Mastercard, among others, had a golden ratio, finding that only two out of the five analyzed follow the ratio exactly.

Second, we used GeoGebra and Canva to design five logos that meet the golden ratio and five similar ones that did not, and we used two photographs.

Finally, a survey was conducted using the twelve patterns designed to test whether society has a preference for logos designed based on the golden ratio.

From the results obtained from the survey using test such us chi-square showed that today logos that contains the golden ratio are well.

3. INTRODUCCIÓN

3.1 Justificación

La elección del trabajo nace del interés por entender cómo las matemáticas pueden estar presentes en nuestra vida diaria, desde la disposición de los pétalos de una rosa hasta las obras arquitectónicas, mostrando cómo diversos campos tienen en común un número determinado o una proporción geométrica que representa equilibrio y armonía conocida desde la Antigüedad, denominada proporción áurea.

Mi intención hacia el trabajo no solo fue informar qué es la proporción áurea, sino acercar las matemáticas a nuestro alrededor. A lo largo de mi vida escucho comentarios que califican las matemáticas como una materia aburrida y alejada de la realidad, y es por eso que ha despertado en mí el deseo de mostrar una versión diferente de esta disciplina y tratar de hacer las matemáticas como algo entretenido, atractivo y útil.

Finalmente, este proyecto fomenta el pensamiento crítico al cuestionar si la proporción áurea tiene impacto en el diseño de logotipos y si la sociedad está influenciada por su belleza y equilibrio.

3.2. Hipótesis

La hipótesis del presente proyecto que se pretende verificar es la siguiente: La sociedad actual siente preferencia por logotipos que contienen la proporción áurea.

3.3. Objetivos

3.3.1 Objetivo general

- Verificar que la proporción áurea nos influye a la hora de elegir una marca comercial por su logotipo.

3.3.2 Objetivos específicos

- Estudiar logotipos verificados por otras fuentes con proporción áurea y comprobar si realmente la cumplen.
- Diseñar logotipos, unos que respeten y otros que no respeten la proporción áurea que nos servirán en el diseño de la encuesta.
- Analizar los datos obtenidos en la encuesta para corroborar si existe dependencia en cuanto al género, edad o nivel de estudios y la elección de los logos por parte de los encuestados.

4. METODOLOGÍA

Como se ha mencionado antes, se parte de la hipótesis de que la sociedad actual tiene preferencia por logotipos que cumplen la proporción áurea.

Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la bibliografía, libros, tesis, publicaciones digitales relacionadas con la proporción áurea, lecturas acerca del tema y estudios previos que proporcionaron la base del conocimiento fundamental para dar forma a los fundamentos teóricos de la investigación.

Tanto para el desarrollo de la experimentación como para la creación de las figuras del marco teórico se empleó el programa GeoGebra, una aplicación gratuita enfocada en el aprendizaje de las matemáticas, que requirió de un previo estudio profundo para poder llegar al dominio integral de sus herramientas y posibilidades operativas.

La experimentación se dividió en tres fases:

En primer lugar, se corroboró la presencia del número de oro en algunos logos ya conocidos como por ejemplo Twitter, realizando su análisis con el programa GeoGebra en base a las publicaciones digitales que confirman que los logotipos estudiados cumplen la proporción áurea.

En segundo lugar, se diseñaron cinco logotipos con proporción áurea, empleando los conocimientos adquiridos en el marco teórico, y otros cinco similares sin dicha proporción. En el diseño se utilizó tanto el GeoGebra como la plataforma Canva (herramienta de diseño gráfico). También se realizaron dos fotografías, una en cuyo encuadre interviene la proporción áurea y otra en la que no.

En tercer lugar, se diseñó con GoogleForms una encuesta anónima usando los diez logotipos y las dos fotografías mencionadas anteriormente. Se preguntó en primer lugar, por la edad, el género y los estudios realizados; y en segundo lugar, se pidió que se eligiese (para cada una de las cinco parejas de logos y para las dos fotografías) el logo y la foto que resultase más atractivo. La encuesta se pasó tanto a alumnos del IES GUADARRAMA como a personas externas, con la idea de tener una amplia cantidad de respuestas que dieran más consistencia a nuestro estudio estadístico y así extrapolar las conclusiones a la población general.

Finalmente, se analizó la encuesta y se empleó la prueba del chi-cuadrado para poder comprobar la dependencia o independencia de las variables estudiadas y concluir si la hipótesis se verifica.

5. MARCO TEÓRICO

Este marco teórico tiene como objetivo proporcionar una sólida base de conocimientos para la comprensión de este trabajo de investigación. Para entender este trabajo es primordial saber qué es la proporción áurea y los diversos terrenos donde se puede encontrar.

A lo largo del presente trabajo aparecerán las distintas nomenclaturas como proporción áurea, divina proporción, sección áurea, número oro, phi, incluso su símbolo (ϕ) ya que son los nombres más recurrentes que aparecen en la literatura matemática.

El número de oro es un número algebraico irracional por tanto no puede expresarse como una fracción simple y su valor contiene infinitos decimales sin periodo. Es representado con la letra griega phi (ϕ). Su valor equivale a 1.6180339887…

5.1. Origen del número de oro

El número de oro siempre ha existido en las matemáticas, pero se desconoce con exactitud quién fue el pionero que descubrió esta bella proporción y cuándo fue aplicada por primera vez por la humanidad. Debido a esto se puede suponer que quizás ha sido descubierto numerosas veces, lo que explica por qué se le conoce con diversos nombres.

Según algunos autores y arqueólogos, en el 3000 a.C los egipcios empleaban la proporción áurea en el proceso de construcción de las pirámides, pese a ello no existen documentos formales que demuestren su uso en Mesopotamia, puesto que consideraban que sí la empleaban, los griegos no eran conscientes de ello, como defiende Mario Livio en su libro *The Golden Ratio* (2002).

La mayor parte del contenido en los libros de texto de geometría deriva de los descubrimientos a los antiguos griegos, y las primeras referencias que se conocen pueden datar del tiempo de Pitágoras (570 a.C.- 495 a.C.) un gran matemático y filósofo. Según la tradición, la estrella pentagonal fue el símbolo de los seguidores de Pitágoras. Los pitagóricos pensaban que el mundo estaba configurado según un orden numérico, donde sólo tenían cabida los números fraccionarios. La casualidad, sin embargo, hizo que en su propio símbolo se encontrara un número irracional: el número de oro. (Nodo 614, s.f.)

Los primeros estudios se deben a Euclides, un matemático griego (325 a.C - 265 a.C) conocido por su libro Elementos *(Στοιχεῖα)*. La proporción áurea aparece múltiples veces en sus trece volúmenes y demostró que este número es irracional. Euclides realiza la definición formal sobre esta proporción "Se dice que una recta ha sido cortada en extrema y media proporción cuando la recta entera es al segmento mayor como el segmento mayor es al menor" (Livio, 2002).

Durante el Renacimiento, el italiano Luca Pacioli, escribió *De Divina Proportione* (1509), relacionando las matemáticas con la teología. Las ilustraciones de Leonardo da Vinci para el libro contribuyeron a popularizar el concepto, vinculándolo con las proporciones estéticas del cuerpo humano y la geometría de las formas naturales (Gary B. Meisner, 2018).

En 1525, Alberto Durero (1471-1528), un artista alemán, explicó cómo trazar una espiral áurea con regla y compás en su obra *Instrucción sobre la medida con regla y compás de figuras planas*. De ahí el nombre de "Espiral de Durero".

Johannes Kempler (1571-1630) astrónomo alemán consideró la proporción áurea como "uno de los tesoros de la geometría" en su obra *Mysterium Cosmographicum*.

La primera vez que se utilizó el término "sección divina" fue por Martin Ohm (1792-1872) un matemático alemán en 1835, en la segunda edición de su obra *Las matemáticas puras elementales*.

En la proporción áurea el símbolo común que se utilizaba anteriormente era la letra griega tau τ, inicial de τσμη que significa sección o corte. Fue Mark Barr (1871-1950) un matemático estadounidense el que decidió honrar al gran escultor griego Fidias (490-430a.C), dando a la proporción áurea el nombre de phi (ϕ) la primera letra de su nombre. El logro más importante que podemos encontrar de dicho escultor es el Partenón de Atenea dónde más adelante podremos analizar y comprobar si cumple dicha proporción.

5.2. La proporción áurea aplicada a las matemáticas.

5.2.1 Dos Segmentos proporcionales áureos.

Se considera "proporción" a una relación que se establece entre dos magnitudes ya sea por tamaño o cantidad. En el ámbito de las matemáticas se emplea para detallar una igualdad tipológica, ejemplo: 12 es a 4 como 9 es a 3.

La proporción áurea consta de dividir una recta en dos segmentos; los llamaremos a y b respectivamente.

Esta relación se genera entre la longitud de a, el segmento mayor, a la longitud total, y la longitud de b con respecto a la del segmento a. De forma matemática obtendremos esta ecuación

$$\frac{(a+b)}{a} = \frac{a}{b} = (\phi)$$



Figura 1: Segmento dividido en proporción áurea. Elaboración propia.

Para encontrar el valor preciso de phi examinaremos la figura x y consideraremos la longitud menor, como una unidad y la longitud mayor como x unidades. Si la proporción de x a 1 es la misma que x+1 (longitud total) a x, entonces la línea ha sido dividida en proporción media y extrema como menciona Euclides en el libro Los Elementos.

Haciendo la ecuación cuadrática obtendremos x^2-x-1=0. Las

$$\frac{x}{1} = \frac{x+1}{x}$$

dos soluciones para la ecuación de la Proporción Áurea son:

$$x_1 = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \qquad x_1 = \frac{1-\sqrt{5}}{2}$$

La solución positiva (1+√5)/2= 1.61803398874…nos da el valor del número de oro. Ahora se ve claramente que ϕ es irracional, ya que simplemente es la mitad de la suma de 1 y la raíz cuadrada de 5 (Livio, 2002).

5.2.2 Rectángulo áureo

El rectángulo construido cumple la proporción áurea, ya que, al dividir el lado mayor entre el menor, el cociente da como resultado el número ϕ.

Para la construcción de un rectángulo áureo se realizan los siguientes pasos: En primer lugar, se dibuja un cuadrado de lado arbitrario y desde el punto medio de uno de sus lados se traza un segmento hasta una de las esquinas del lado paralelo. Posteriormente se traza un arco con centro en M y radio el segmento anterior MC hasta que corte con el segmento prolongado por el lado inicial dado. El punto donde corta determinará un vértice del rectángulo.

Seguidamente se trazan los siguientes segmentos CF y EF para completar el rectángulo áureo.

Para que dicho rectángulo cumpla la proporción áurea, al realizar la división entre el lado mayor y lado el menor el cociente resultante corresponde con el número de oro.

$$\frac{a}{b} = 1.618$$

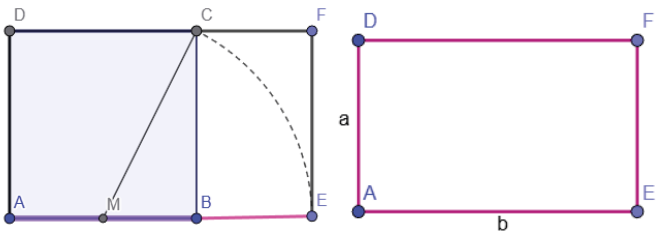


Figura 2: Explicación de cómo realizar un rectángulo áureo. Elaboración propia.

5.2.3 La sucesión de Fibonacci y su relación con el número phi.

Leonardo de Pisa también conocido como Fibonacci, describió una sucesión de números que guardaban relación entre ellos. Esta secuencia surgió a raíz de un problema presentado en el capítulo XII de su libro *Liber abaci* (1202), en el cual se planteaba la cuestión de cuántos pares de conejos pueden producirse, a partir de la pareja inicial, en el periodo de un año, asumiendo que cada pareja engendra al mes un nuevo par de conejos y estos se convierten en productivos al segundo mes.

Como resultado obtuvo la siguiente sucesión: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144…, en la cual cada cifra corresponde a la suma de las dos anteriores (1+1=2, 1+2=3, 2+3= 5, 3+5 = 8).

Si se examina la razón entre dos cifras sucesivas del resultado (calculadas hasta el cuarto decimal) se demuestra que la relación entre ambas se aproxima a la proporción áurea según se desciende por la secuencia.

1/1 = 1.0000	8/5 = 1.6000	55/34 = 1.6190
2/1 = 2.0000	13/8 = 1.6250	89/55 = 1.6181
3/2 = 1.5000	21/13 = 1.6153	144/89 = 1.6179
5/3 = 1.6666	34/21 = 1.6190	233/144 =1.6180

A pesar de que este fenómeno fue descubierto en 1611 por el astrónomo Johannes Kepler, pasó más de un siglo hasta que el matemático Robert Simson, en 1753, pudo probar la relación entre la sucesión y la proporción áurea. Por otra parte, en el siglo XIX, el matemático Edouard Lucas, fue el primero en designar esta secuencia como sucesión de Fibonacci.

El gnomon de un rectángulo áureo, es decir, la figura yuxtapuesta para conseguir otro rectángulo áureo semejante, es un cuadrado. De este modo, si se descarta del interior de un rectángulo áureo un cuadrado de lado igual al segmento menor, se obtiene otro rectángulo áureo. De igual manera, si se añade al rectángulo áureo un cuadrado de lado el segmento mayor, se logra un nuevo rectángulo áureo semejante de mayor tamaño. Esta recursividad y autosimilitud se mantiene infinitamente, tanto hacia dentro como hacia afuera (Luque Ordóñez, 2022).

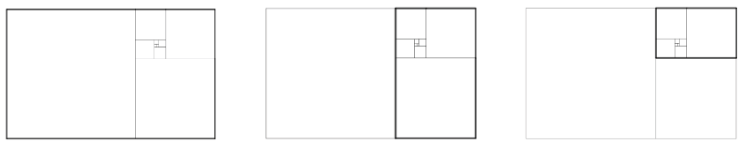


Figura 3: Sucesión de Fibonacci en rectángulos áureos. Elaboración propia.

La espiral áurea, también denominada espiral de Durero, se genera mediante un crecimiento homotético, de rectángulos áureos que aumentan de forma proporcional respecto a un punto fijo donde las diagonales de la sucesión de rectángulos áureos se cortan siempre en ángulo recto y exactamente en el mismo punto de convergencia que comúnmente se denomina ojo de Dios *"O"* , y su construcción consiste en unir arcos de 90° entre puntos opuestos de cuadrados homotéticos con centro en los vértices coincidentes del rectángulo áureo y su semejante (Bermejo Jiménez, 2023).

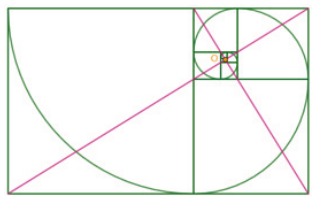


Figura 4: Espiral áurea. Elaboración propia.

5.2.4 Pentágono áureo y triángulo sublime

El pentágono cumple las proporciones áureas en varios aspectos. Como todo polígono regular la suma de todos los ángulos interiores viene dada por 180º·(n-2), donde n es el número de lados de esta figura plana. En el caso del pentágono n=5, luego la suma de todos sus ángulos es igual a 540º. Por tanto, cada ángulo del pentágono es igual a 108º (Livio 2002).

Si se dibujan dos diagonales adyacentes en dicho pentágono como en la figura 5 a), aparecen tres triángulos isósceles. El triángulo del centro tiene dos ángulos iguales de 72º y el tercero de 36º. Si hallamos la bisectriz de uno de los dos ángulos de 72º como se puede comprobar en la figura 5 b), obtendremos un triángulo menor DBC con los mismos ángulos (36º-72º-72º) que el mayor ADB. Utilizando geometría elemental, se demuestra que el punto C divide el lado del triángulo AB en dos segmentos proporcionales. Por esta razón se deduce que el segmento AB a DC cumple también la proporción áurea (Livio 2002).

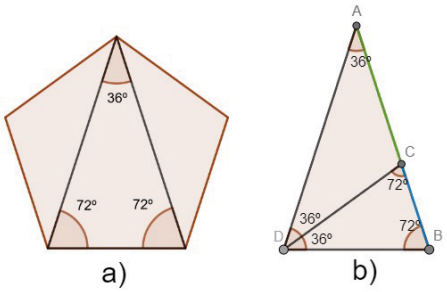


Figura 5: Explicación pentágono y triángulo proporción áurea. Elaboración propia.

El triángulo principal de la figura 6 b) también se conoce como triángulo sublime. Es aquel que la longitud del lado duplicado tiene proporción áurea respecto a la longitud del lado desigual. Además, esta figura se encuentra en las diagonales de la estrella pitagórica o estrella pentagonal.

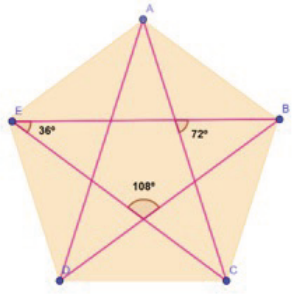


Figura 6: Estrella pitagórica. Elaboración propia.

Si se realiza la bisectriz numerosas veces, el proceso puede generar una espiral como se comprueba en la figura 7, uniendo los vértices de dichos triángulos.

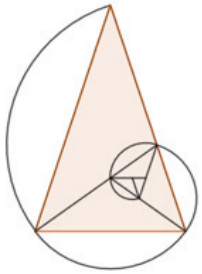


Figura 7: Espiral áurea a través de un triángulo sublime. Elaboración propia

5.2.5 Decágono áureo

Un decágono, es un polígono regular de diez lados. Si se unen los vértices con su centro obtenemos diez triángulos sublimes con ángulos 72º, 36º y 72º en los que la razón entre sus lados mayores (radios del decágono) y sus menores (lados del decágono) es el número dorado como vemos en la figura 8.

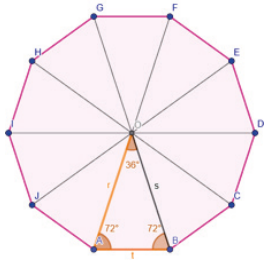


Figura 8: Decágono áureo. Elaboración propia.

5.2.6 Ángulo áureo

El ángulo es una figura geométrica formada bien por dos líneas planas que concurren en un punto, bien por dos semiplanos en el espacio que parten de una misma recta, o bien por tres o más planos en el espacio que se cortan en un punto. Real Academia Española. (2024). *Ángulo*. En *Diccionario de la lengua española* (23.ª ed.). Recuperado el 2 de diciembre de 2025, de https://dle.rae.es/ángulo

El ángulo áureo es aquel que se obtiene al dividir una circunferencia en proporción áurea, es decir, en dos ángulos tales que el cociente entre el mayor y el menor sea en número de oro.

$$\frac{a}{b} = \frac{a+b}{a} = \phi \;\Rightarrow\; \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\alpha+\beta}{\beta} = \phi$$

$$360º = \alpha + \beta \;\Rightarrow\; \frac{360}{\phi} = 222.5º.$$

Como β es mayor de 180º, se resta 222.5º de 360º, y se obtiene ángulo α de 137.5º también denominado como ángulo dorado.

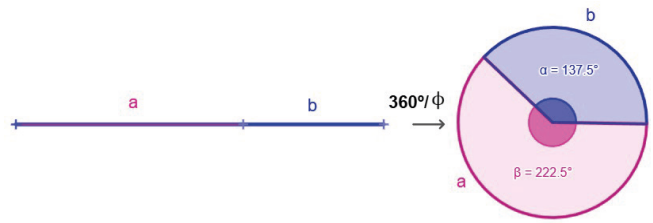


Figura 9: Explicación ángulo áureo. Elaboración propia.

5.3 EL NÚMERO DE ORO EN LA NATURALEZA

El número de oro y la sucesión de Fibonacci ha fascinado no sólo a matemáticos, sino también a biólogos y arquitectos. Dicha secuencia se presenta de forma natural en la morfología y el crecimiento evolutivo de los seres vivos. Aparece en los patrones de crecimiento y supervivencia de las plantas, en múltiples proporciones del hombre y del reino animal, e incluso es la base de la formación de la molécula de la vida, el ADN. (Luque Ordóñez, 2022, p.4)

La Sucesión de Fibonacci se encuentra estrechamente relacionada con la filotaxia, es decir, con el análisis de los patrones que rigen la disposición de las hojas o flores alrededor del tallo de las plantas. Las ramas y las hojas de los árboles se distribuyen de cierto modo con el objetivo de recibir siempre la mayor cantidad de iluminación posible para cada una de ellas. Se distribuyen en torno al tallo siguiendo el ángulo dorado. Como el ángulo es irracional, por muchas vueltas que dé alrededor del tallo, nunca regresará a la posición inicial.

Por este motivo ninguna hoja nace justo en la vertical de la anterior. (Bermejo Jiménez, 2023)

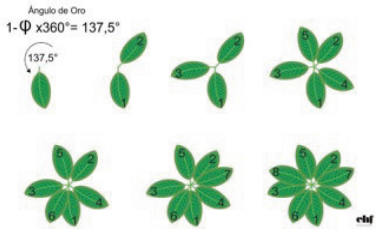


Figura 10: Filotaxia y su relación con el ángulo dorado. Fuente: Diseno Gràfico EHF: Fibonacci y el ángulo de Oro.

Asimismo, la cabeza de los girasoles, está formada por flores que presentan una organización espiral que responde a relaciones numéricas vinculadas a la sucesión de Fibonacci y el ángulo de oro. La disposición de dichas flores concuerda con la forma de espirales enrolladas en sentido de las agujas del reloj y, según el matemático alemán Gerrit van Iterson, al envolver puntos separados con un ángulo de 137.5º de manera que todas las espirales están estrechamente enrolladas se forma un número definido de espirales en sentido antihorario y otras en sentido horario. Este número de espirales depende del tamaño del girasol y se relaciona con la secuencia de Fibonacci. Un girasol promedio suele tener treinta y cuatro espirales en un sentido y cincuenta y cinco en el otro, aunque hay casos de 89/55 o 144/89. (Livio, 2002)

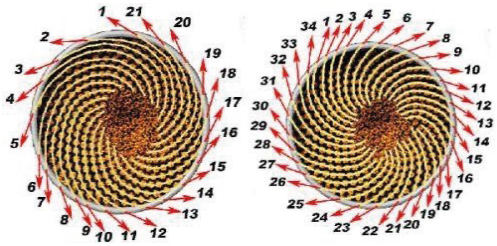


Figura 11: Espiral del girasol. Fuente: Pinterest.

Otro caso representativo es el número total de pétalos. La mayor parte de margaritas silvestres tienen trece, veintiún o treinta y cuatro pétalos, todos ellos números de la sucesión de Fibonacci.

La divina proporción también se encuentra en la formación de conchas marinas, en concreto en la concha de nautilus, que sigue la espiral logarítmica áurea. Este patrón además de contribuir a la resistencia de la concha, facilita un crecimiento proporcional a medida que el ser vivo envejece.



Figura 12: Proporción áurea en nautilus. Fuente: Pinterest.

5.4 LA PROPORCIÓN ÁUREA EN LA ARQUITECTURA Y EL ARTE

El empleo de la proporción áurea en la arquitectura se remonta a Egipto, dado que muchos investigadores afirman que La Gran Pirámide de Guiza cumple aproximadamente con la proporción áurea en la altura del monumento dividida por la mitad de la base. (Freire, 2023)

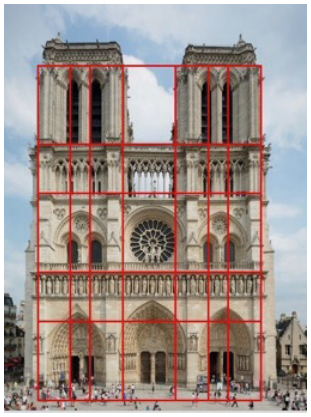


Figura 13: Pirámides de Guiza. Fuente: National Geographic.

Los griegos emplearon también la proporción áurea en su arquitectura. El Partenón de Atenas fue construido entre 447-438 a.C. Hay varias dudas de si los arquitectos del Partenón incorporaron intencionalmente o no el número de oro en su construcción puesto que transcurrió más de un siglo entre la conclusión del monumento y la primera documentación de la proporción áurea en *los Elementos* de Euclides. Las apariencias de esta proporción áurea se encuentran en el lado más corto del monumento. El Partenón está inscrito en un rectángulo áureo y una espiral incrustada como se muestra en la figura 14.



Figura 14: Análisis del Partenón . Fuente: GeoGebra



En la Edad Media se continúa la búsqueda de la belleza a través del número de oro. Lo más sobresaliente son las catedrales góticas. Un claro ejemplo es la Catedral de Notre Dame. La altura de la catedral es 1.618 veces mayor que la anchura. Además, en toda su fachada se pueden apreciar múltiples rectángulos áureos.

Figura 15: La Catedral de Notre Dame. Fuente: Pinterest

Leonardo Da Vinci (1452-1519), fue uno de los autores más importantes cuando se habla del arte renacentista. *El hombre de Vitruvio* es una de sus obras más representativas desde el punto de vista de la proporción áurea. Está basado en las proporciones humanas ideales. Estas dimensiones áureas se pueden encontrar en: la distancia entre la parte superior de la frente y la inferior de los pies, la distancia del codo a la punta de los dedos entre muchas otras.

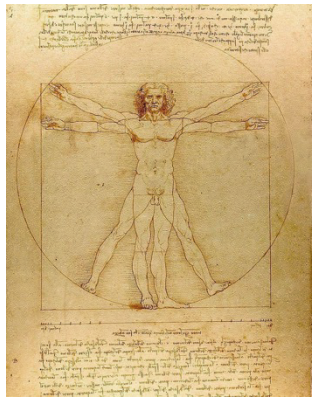


Figura 16: Hombre de Vitruvio. Fuente: HOMBRE de VITRUVIO | Significado, medidas y características

Otra obra importante de Da Vinci es *La última cena* pintada entre 1495 y 1498, en ella se puede observar que la cabeza de Jesús se encuentra en el punto medio, mientras que el alto de las ventanas se encuentra en un punto áureo.



Figura 17: La última cena. Fuente: Pinterest.

En el Barroco, pese al pesimismo también optaron por utilizar la divina proporción en sus obras. Destaca el autor Diego de Velázquez con su obra *Las meninas*, en esta pintura se puede observar como la infanta encaja las proporciones divinas. Además, el marco se asemeja al rectángulo áureo.

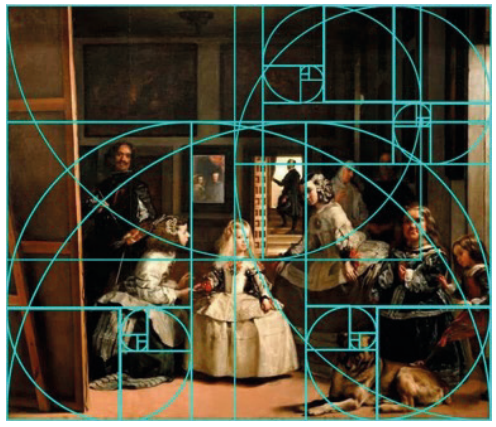


Figura 18: Las meninas. Fuente: Pinterest.

5.5 LA DIVINA PROPORCIÓN EN LA FOTOGRAFÍA

En el campo de la fotografía siempre se busca una buena composición y lo más importante: un objeto principal que no debe estar siempre en el centro.

Con la proporción áurea se consigue incluir el objeto dentro de un encuadre geométricamente correcto, lo cual hace que cuando se observa la fotografía, el ojo se enfoque en ese objeto principal, y después se dirige al resto. Para ello se debe observar todo el campo de visión a fotografiar, conocer cuál es el objeto que se desea resaltar y hacer el encuadre correcto con buena composición. (Minguihni, 2016)

Para ello los fotógrafos utilizan la espiral áurea con la finalidad de destacar un objeto o que la fotografía tenga una proporción correcta, como se puede mostrar en la siguiente figura.



Figura 19: Fotografía que cumple la divina proporción.
Fuente: Roberto Pozo Peraita.

5.6 EL NÚMERO PHI EN EL DISEÑO DE LAS MARCAS COMERCIALES.

En la actualidad se utiliza el número PHI en los Departamentos de Marketing de las empresas para la creación y actualización de sus marcas comerciales, representadas por sus logotipos.

Dicha práctica actual, por ejemplo, en el logotipo de las marcas automovilísticas como Toyota y Honda, no es una novedad en las empresas, ya que por ejemplo en el logo de Twitter que se creó en 2012 ya aparecía el número de oro. Igualmente, MasterCard (2016-2020), o Pepsi (2008-2023) lo vienen utilizando desde sus inicios, para hacer más atractiva la marca e influir en las decisiones de consumo de los usuarios.

6. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS

6.1. Análisis de LOGOS "VERIFICADOS"

Existen distintas páginas web y bibliografías que han analizado la existencia de la proporción áurea en los logotipos de las principales marcas de diferentes sectores. En base a dichos análisis vamos a intentar confirmar, con algunos ejemplos, la veracidad de sus conclusiones.

Para ello nos centramos en la comprobación de la proporción áurea en los logotipos de las empresas Pepsi, Toyota, Twitter, National Geographic, MasterCard.

Análisis logotipo Pepsi



Figura 20: Logotipo Pepsi: Fuente: Seek Logo

Desde el año 2008 hasta el 2023 la marca estuvo usando en todos sus productos el logotipo con proporción áurea. Esta relación se encuentra entre los diámetros de la circunferencia exterior del logo y la circunferencia interior que delimita los colores blanco y azul.

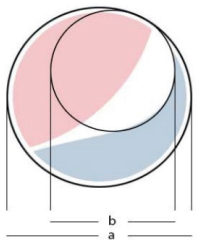
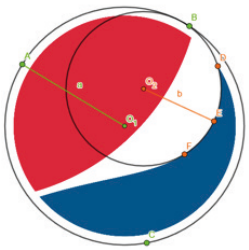


Figura 21: Logotipo Pepsi:
Fuente: La Proporción áurea de las marcas

Se procede a comprobar dicha relación de la siguiente manera.

1. Se introduce en el programa GeoGebra el logotipo del 2008 de PEPSI.
2. Se seleccionan tres puntos (A, B y C) arbitrarios del borde del logotipo, procurando que estén lo más alejados entre sí para obtener la mayor precisión posible.
3. Se crea la circunferencia que pasa por los tres puntos seleccionados del paso 2.
4. En la curva que delimita los colores blanco y azul, se seleccionan otros tres puntos arbitrarios, (E, D y F) y con ellos, se genera de forma análoga la una nueva circunferencia que pasa por esos puntos.
5. Los radios *"a"* y *"b"* de las circunferencias creadas en el paso 3 y 4, se relacionan entre sí, y para cumplir la proporción áurea, su cociente debería aproximarse a 1.61 unidades.



Mediante los cálculos realizados en GeoGebra, se obtiene que el resultado de la relación entre los radios *a* y *b* es de 1.53, lo cual no cumple el requisito de proporción áurea (1.61), presentando una diferencia de 0.08 unidades.

Figura 22: Logotipo Pepsi analizado en GeoGebra. Elaboración propia.

Análisis logotipo Twitter



Figura 23: Logotipo Twitter. Fuente: Twitter Logo y símbolo, significado, historia, PNG, marca

La red social X es la más usada y conocida a nivel mundial para el intercambio de mensajes o tuits, con una extensión de 280 caracteres como máximo.

En 2023, hubo un cambio radical en la marca, cambiando de dueños, de logo y de nombre. Este nuevo logo ya no cumple con la proporción áurea. Realmente, su marca y nombre más reconocido ha sido Twitter, representado por un ave azul.

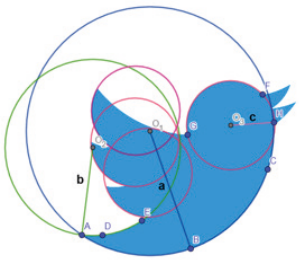
La proporción áurea del antiguo logotipo empleado hasta el 2023, según las fuentes empleadas, informan que los radios de las circunferencias con las que se crea la figura en relación a la cabeza, ala y cuerpo del ave, están relacionadas a través de la proporción áurea.

Se procede a comprobar la autenticidad de dicha información con nuestra herramienta GeoGebra.

1. Se inserta el logotipo de Twitter en GeoGebra.
2. Se toman tres puntos arbitrarios (A, B Y C) de la curva que representa el cuerpo del ave, y con ellos se genera una circunferencia que coloreamos en azul.
3. De la misma manera, se traza una circunferencia, pasando por tres puntos arbitrarios (A, D y E) del interior de la cola del ave, en color verde.
4. Se repite la misma operación en la parte que representa la cabeza de la figura, obteniéndose una tercera circunferencia de color rosa.
5. Posteriormente, se realiza el mismo procedimiento en la zona de la figura que representa el ala del ave, creando tres circunferencias. Estas resultan tener el mismo radio que la circunferencia asociada a la cabeza, por lo que se decide representar las cuatro con el mismo color rosa.

Para demostrar si se cumple la proporción áurea entre las seis circunferencias creadas, se realizan las siguientes comparaciones:

a. Al dividir el radio de la circunferencia mayor (azul) entre el radio de la circunferencia de tamaño medio (verde), se obtiene un valor de 1.41 unidades, lo que supone un error de 0.20 unidades, respecto a la proporción buscada 1.61u. Se pueden comprobar estos resultados en Anexo I
b. Al dividir el radio de la circunferencia media (verde) entre el radio de las circunferencias menores (rosas), se obtiene un valor de 1.98 unidades, arrojando un error de 0.41 unidades respecto al valor esperado para cumplir la proporción áurea.



Según los resultados obtenidos el logotipo de Twitter no cumple con la proporción áurea.

Figura 24: Logotipo Twitter analizado. Elaboración propia.

Análisis logotipo National Geographic



Figura 25: Logotipo National Geographic: National Geographic Logo y símbolo, significado, historia, PNG, marca

National Geographic es una corporación empresarial donde se pueden encontrar todo tipo de documentales, ya sea en su medio impreso, como en en formato vídeo de diferentes materias relacionadas con la naturaleza.

Para dar visión a dichos documentales, su equipo de marketing introdujo el logotipo en el 2016 no sufriendo variaciones hasta la actualidad.

Si analizamos detalladamente su distintivo, la fuente confirma la existencia de la proporción áurea en el interior del marco amarillo. Dicho marco influye en las proporciones utilizadas en la nomenclatura de "National Geographic" en varias cuestiones.

En primer lugar, la altura del interior del marco amarillo, coincide con la suma de las alturas de las letras **"N y G"** más el espacio comprendido entre ellas. (figura 26)

En segundo lugar, la distancia entre el interior del marco amarillo, y el inicio de la letra **"N"** está ajustado a la relación de la base y el número phi.

En tercer lugar, el grosor del marco, es un tercio de la distancia existente entre el interior del marco y la letra **"N"**, mencionada anteriormente.

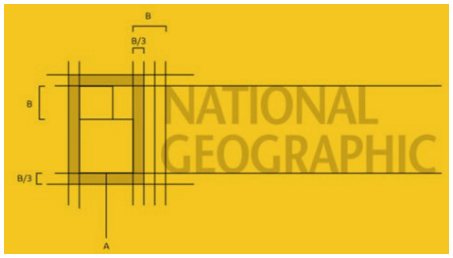


Figura 26: Logotipo National Geographic analizado.Fuente: Guía de composición con la proporción áurea Fluye&Crea

Se procede a comprobar si se cumple la proporción áurea indicada por la fuente en este logotipo:

1. Se introduce la imagen proporcionada por la fuente en GeoGebra.
2. Para obtener el rectángulo interior del marco, se seleccionan los vértices (A, B, C y D) y se forman los cuatro lados correspondientes.
3. Se comprueba si el rectángulo cumple la proporción áurea, dividiendo el lado mayor *"a"* entre el menor *"b"* obteniendo como resultado el número de oro, cumpliendo por tanto la primera consideración de la fuente.
4. Se verifica que la altura ocupada por el espacio de la nomenclatura coincide con la altura del lado mayor del rectángulo áureo. Para ello se trazan dos rectas perpendiculares al lado *"a"* que pasan por los puntos A y B.
5. Para comprobar la relación de la distancia de la inicial "N" y el vértice superior derecho del interior del marco amarillo (H), se divide el segmento *"b"* entre el número ϕ. El resultado es la distancia *"c"*, que coincide con la medida buscada y cumple la relación con el número áureo.
6. Finalmente, al dividir la distancia *"c"* entre tres, se obtiene el grosor del marco amarillo, cumpliéndose así la última apreciación indicada por la fuente.



Figura 27: Logotipo de National Geographic. Elaboración propia.

Análisis logotipo MasterCard.



Figura 28: Logotipo de MasterCard. Fuente: MasterCard Logo Font

MasterCard, marca relativa al mundo financiero, creó su logotipo en el año 2016 y no lo modificó hasta el 2020. Podemos encontrarlo en campañas publicitarias para fomentar el medio de pago con dicha empresa.

Según las fuentes empleadas, los dos círculos, rojo y naranja, están inscritos dentro de un rectángulo áureo. Además, se afirma que el rectángulo que contiene la palabra de la marca, mide la cuarta parte de la altura del rectángulo áureo anterior.



Figura 29: Logo de MasterCard. Fuente: https://n9.cl/8jrcaz

Se procede a comprobar la afirmación de la fuente de la siguiente manera.

1. Se introduce en el programa GeoGebra el logotipo MasterCard 2016.
2. Se crean dos rectas tangentes y paralelas entre sí, al círculo rojo, una por la parte superior y otra por la inferior.
3. A continuación, se trazan dos rectas perpendiculares a las rectas anteriores y tangentes al círculo rojo dado, tanto a la izquierda como a la derecha.
4. Con las intersecciones de las rectas tangentes creadas, se obtienen los cuatro vértices del cuadrado que inscribe el círculo rojo (A, B, C y D).
5. Se toma el segmento *"a"* como la altura para construir el rectángulo áureo y calculamos la base *"b"* multiplicando la altura por el número ϕ. Esto permite obtener los cuatro vértices del rectángulo, (A, B, E y F)
6. Al unir los vértices E y F, se verifica que el segmento resultante es tangente al círculo naranja, lo que confirma que ambos círculos están inscritos en el rectángulo áureo.
7. Por otro lado, se puede verificar la aplicación de la divina proporción en la nomenclatura de la marca, incluida en el logotipo, de la siguiente manera:
8. Se dibuja una recta *"r"* tangente a la base del logotipo.
9. La intersección de esta recta con las perpendiculares creadas en el paso tres y con el segmento *"b"* define un rectángulo inferior que enmarca la palabra "Mastercard".

10. Finalmente, al dividir la altura del rectángulo áureo entre cuatro, se obtiene la altura del rectángulo que contiene la nomenclatura, cumpliendo la condición indicada por la fuente.

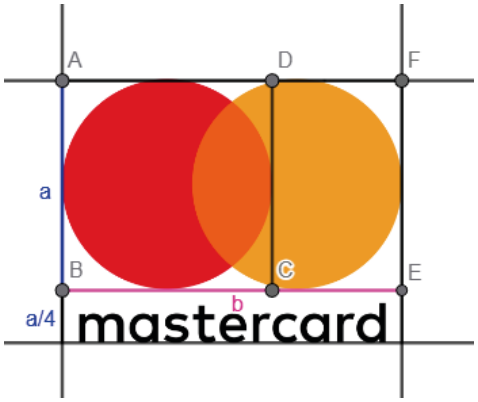


Figura 30: Análisis logo MasterCard. Elaboración propia.

Análisis logotipo Toyota.

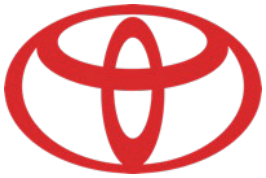


Figura 31: Logo de Toyota: Toyota Logo – Iconic Japanese Automotive Brand PNG Cutout

La marca automovilística de origen japonés, ha mantenido el estilo del logotipo a lo largo de los años con pequeñas modificaciones en las proporciones. Dichas proporciones utilizadas, se han relacionado con el rectángulo áureo en múltiples ocasiones.

Diversas fuentes afirman que el logotipo empleado desde el año 1989 se basa en la proporción áurea tanto en el ancho como en su alto, puesto que la figura, está inscrita en un rectángulo con proporción divina.

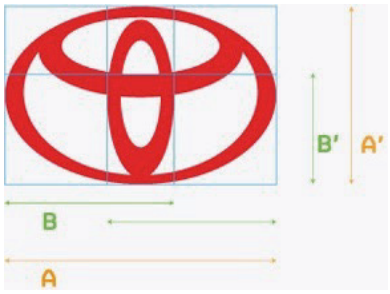


Figura 32: Logo de Toyota analizado. Fuente: Guía de composición con la proporción áurea Fluye&Crea

Para verificar dicha afirmación, se realizó el siguiente procedimiento.

1. Se comienza con la construcción de un rectángulo áureo (naranja) de vértices A, B, C y D. Se incorpora en su interior un cuadrado de vértices A, B, E y F cuyo lado es igual a la altura del rectángulo inicial, según se muestra en la figura 33.
2. Se insertó el logotipo de Toyota dentro del rectángulo previamente generado, ajustando su posición y escala para analizar su correspondencia geométrica.
3. Posteriormente, tras realizar los ajustes necesarios, se comprobó que las dimensiones del logotipo, no coincidían con las medidas del ancho del rectángulo áureo. Como ya conocemos, la proporción áurea en un rectángulo se verifica cuando el segmento mayor *"b"* dividido entre el menor *"a"* da como resultado 1.61 unidades. En este caso el segmento mayor *"c"* entre *"a"* da un valor de 1.54 unidades, lo que supone una desviación de 0.07 unidades respecto al valor teórico. Esta diferencia invalida la supuesta correspondencia áurea.
4. Asimismo, el cuadrado formado mediante la sucesión de Fibonacci, aplicado a las elipses interiores del logotipo, no presenta coincidencias, no cumpliendo el número de oro.

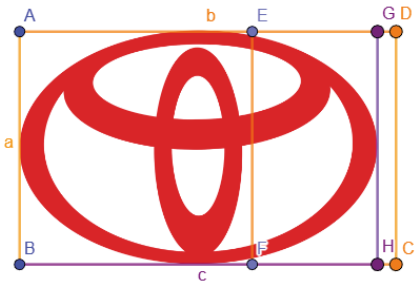


Figura 33: Análisis logotipo Toyota. Elaboración propia.

6.2. Diseños de logos

6.2.1 Logos de creación propia con proporción áurea

En esta parte del trabajo hemos empleado los conocimientos del marco teórico, y hemos diseñado cinco logos y una fotografía que cumple la proporción áurea con las herramientas GeoGebra y Canva.

- **LOGO 1: Estrella con proporción áurea.**



Figura 34: Resultado final del logotipo 1 en GeoGebra. Elaboración propia

Como se explicó al inicio de este trabajo, la estrella pitagórica, cumple la proporción áurea en tres ocasiones.

Para la realización del logotipo 1 se han seguido los siguientes pasos en GeoGebra:

1. En primer lugar, se ha construido un pentágono regular.
2. A continuación, a partir de los vértices del pentágono, se generó un polígono estrellado, uniendo los puntos mediante saltos de un vértice. Para ello, cada vértice se une con el vértice que está dos posiciones más adelante, no el inmediato.
3. Posteriormente, se construyó un nuevo pentágono regular cuyo lado coincide con la longitud de los lados del polígono estrellado creado previamente (segmento *AB*).
4. Tras obtener el segundo pentágono regular, se repitió el proceso anterior, se aplicaron los saltos de un vértice y se creó un nuevo polígono estrellado en él, obteniendo así la figura del logotipo final.
5. Teniendo en cuenta que el logotipo se construye a partir de pentágonos regulares, cuya relación con la proporción áurea ya se ha explicado y que dicha relación también aparece en los polígonos estrellados que originan, se puede asegurar que el logotipo diseñado mantiene dicha proporción.

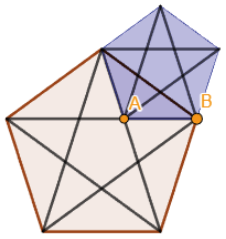


Figura 35: Explicación del logotipo 1 en GeoGebra. Elaboración propia.

Es más: $\frac{a}{b} = \frac{b}{c} = \frac{c}{d} = \frac{d}{e} = \phi$

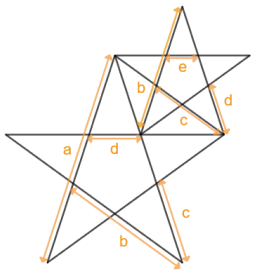


Figura 36: Análisis logotipo 1 en GeoGebra. Elaboración propia

- **LOGO 2: Triángulos con proporción áurea.**



Figura 37: Resultado final del logotipo 1 en GeoGebra. Elaboración propia.

En esta ocasión se ha diseñado el logotipo partiendo de los triángulos áureos.

1. Para ello, se introdujo en GeoGebra un triángulo isósceles, cuyo ángulo en el vértice superior es de 36º y los ángulos iguales de 72º, cumpliendo las características de un triángulo sublime.
2. Se construye un segundo triángulo áureo semejante al anterior cuya base es igual al cociente entre la base del triángulo inicial y el número ϕ.
3. Seguidamente se incorpora un decágono regular, figura que también presenta relaciones basadas en la sección áurea. Para generar el sol, se dibuja el polígono estrellado del decágono con saltos de 2 vértices.

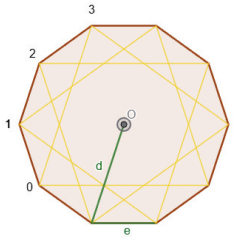


Figura 38: Explicación salto de 2 vértices en GeoGebra. Elaboración propia.

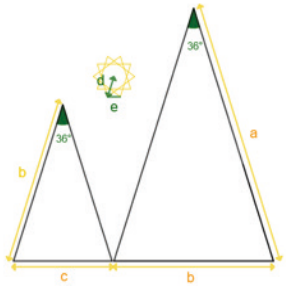


Figura 39: Análisis logotipo 2 en GeoGebra. Elaboración propia

Se demuestra que se cumple la condición de la proporción divina ya que el resultado de todas las relaciones de los segmentos da como resultado el número ϕ.

$$\frac{a}{b} = \frac{b}{c} = \frac{d}{e} = \phi$$

- **LOGO 3: Espiral con proporción áurea.**



Figura 40: Resultado final del logotipo 3 en GeoGebra. Elaboración propia.

La creación del Logotipo 3, se basa en la espiral de Fibonacci.

1. Se crea una espiral áurea en GeoGebra y se inserta en la herramienta Canva. Para consultar el procedimiento empleado en la elaboración de la espiral áurea, se sugiere escanear el código QR adjunto, que dirige a la demostración detallada.
2. Superponemos, tras su selección, las imágenes de las flores y las hojas, intercaladas.
3. Se rotan cada una de las imágenes, siguiendo la espiral áurea y disminuyendo su tamaño para el encuadre áureo de la espiral.
4. Se añade texto para completar el logotipo, utilizando la herramienta Canva.



Figura 41: Diseño del logotipo 3 en Canva. Elaboración propia.

- **LOGO 4: Letra con proporción áurea.**



Figura 42: Resultado final Logo 4. Elaboración propia.

El tercer logotipo con proporción áurea se ha creado partiendo de un rectángulo áureo.

1. Se crea con la aplicación GeoGebra un arco de circunferencia que pasa por tres puntos (A, B y E). Los puntos A y B son los extremos del segmento *"a"* del rectángulo áureo y E el punto medio del segmento *"h"* del dicho rectángulo. GeoGebra nos proporciona con esta operación el punto O correspondiente al centro del arco.
2. Se toma el segmento menor *"b"* del anterior rectángulo. Aplicando los conocimientos aprendidos en el marco teórico, se divide *"b"* en dos segmentos áureos proporcionales, obteniendo *"c"* como el segmento mayor y *"d"* como el menor. Interesa el segmento *"d"* ya que se utilizará en el siguiente paso para dibujar el segmento *"s"*.
3. Para averiguar dónde están los extremos del segmento *"s"*, se traza una circunferencia de radio *"d"* y centro en A. Para el cálculo del grosor de la parte vertical y curva de la letra D, se ha utilizado la distancia *"d"* dividida entre el número ϕ, dando como resultado el segmento "e".
4. Con ambos segmentos *"d"* y *"e"*, se determinan los puntos P y Q,
5. Se toman el punto O, como centro y los puntos P y Q, y con ellos se genera el arco de circunferencia interior de la letra D.
6. Para finalizar la construcción de la letra D, se dibuja la cuerda que une los puntos P y Q.

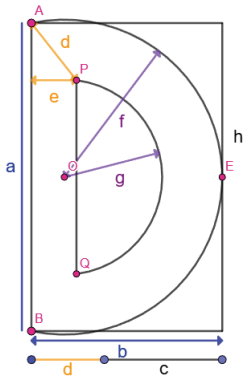


Figura 43: Análisis logotipo 3 en GeoGebra. Elaboración propia

Los siguientes pasos se han realizado para crear los corazones de la zona inferior derecha que acompañan a la letra D.

7. Se utiliza la herramienta online de diseño gráfico Canva, se selecciona el elemento corazón.
8. Se realizan tres escalas de la misma figura, siguiendo la sucesión de Fibonacci 13, 8 y 5 unidades en el segmento que representa el ancho de la figura.

- **LOGO 5: Texto con proporción áurea**



Figura 44: Resultado final del logotipo 5 en Canva. Elaboración propia.

En el eslogan se ha introducido la sucesión de Fibonacci en el tamaño de la fuente en cada una de las filas del texto. De tal forma que:

1. La razón entre el tamaño de la fuente del tipo de letra usada en la segunda línea y el tamaño de la fuente de la letra usada en la primera línea es el número de oro.
2. Igualmente, la razón entre el tamaño de la fuente del tipo de letra usada en la cuarta línea y el tamaño de la fuente de la letra usada en la tercera línea es el número de oro.

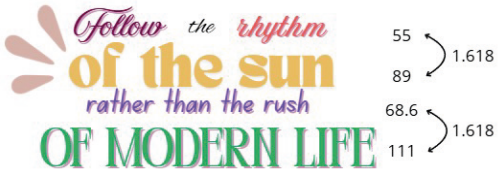


Figura 45: Análisis logotipo 5 áureo en Canva. Elaboración propia.

- **FOTOGRAFÍA: Imagen con proporción áurea**



Figura 46: Resultado final de la fotografía. Fuente: Roberto Pozo Peraita.

En esta ocasión se ha optado por la creación de una imagen, con la colaboración del fotógrafo Roberto Pozo Peraita, en la cual se han buscado los encuadres necesarios para cumplir la proporción áurea.

Se ha superpuesto la espiral áurea realizada en GeoGebra, iniciando el trazado en el vértice superior izquierdo de la fotografía y finalizando con el encuadre del rostro de la mujer.



Figura 47: Análisis fotografía con proporción áurea. Roberto Pozo Peraita.

6.2.2 Logos creación propia sin proporción áurea.

En este caso para realizar el objetivo de la encuesta se han diseñado cinco logos parecidos a los anteriores sin proporción áurea.

- **LOGO 1: Estrella sin proporción áurea.**



Figura 48: Resultado final del logo 1 sin proporción áurea. Elaboración propia.

Siguiendo la misma estructura del logotipo 1, se ha empleado, en esta ocasión, un hexágono en lugar de un pentágono, como base para la construcción de la estrella.

El hexágono no cumple, en ninguna de sus características, las condiciones de la divina proporción, por lo que ni la figura estrellada rosa, ni la amarilla, la cumplen.

- **LOGO 2: Triángulos sin proporción áurea.**



Figura 49: Resultado final del logo 2 sin proporción áurea. Elaboración propia.

El logotipo B se ha basado en dos triángulos isósceles, con ángulos de 78º, 24º, 78º, no correspondiendo estas medidas al triángulo áureo.

La figura en forma de luna, se ha realizado por dos arcos de circunferencia arbitrarias, que no guardan relación entre sí.

- **LOGO 3: Espiral sin proporción áurea.**



Figura 50: Resultado final del logo 4 sin proporción áurea. Elaboración propia.

La espiral base de este logotipo, se denomina espiral de Arquímedes, con proporciones distintas a la proporción áurea.

Sobre la espiral se han intercalado imágenes de flores y hojas con la herramienta Canva, como se puede ver en la figura inferior, sin ninguna relación de proporción áurea entre las mismas.

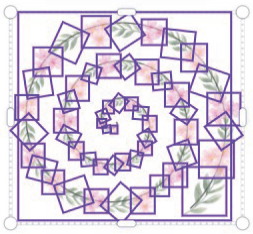


Figura 51: Diseño del logo 4 sin proporción áurea en Canva. Elaboración propia.

Por último, se añade texto con la herramienta Canva.

- **LOGO 4: Letra sin proporción áurea.**



Figura 52: Resultado final del logo 3 sin proporción áurea. Elaboración propia.

En este caso se ha utilizado nuevamente la herramienta GeoGebra para construir la letra D, aunque sus medidas han sido tomadas arbitrariamente tanto en la parte vertical como en la curva de la letra.

Por otro lado, las figuras en forma de corazón, realizadas con Canva, mantienen el mismo tamaño, y por tanto no se está aplicando en ellas ninguna proporción áurea.

- **LOGO 5: Texto sin proporción áurea.**



Figura 53: Resultado final del logo 5 sin proporción áurea. Elaboración propia.

Cada una de las líneas del texto del eslogan tiene un tipo de letra diferente. Los tamaños de las fuentes se han elegido de forma que no exista relación áurea entre ellas.

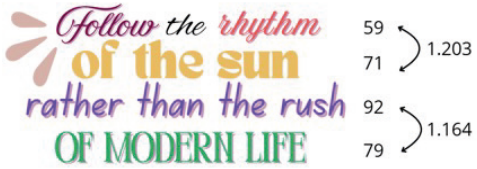


Figura 54: Diseño del logo 5 sin proporción áurea en Canva. Elaboración propia.

- **FOTOGRAFÍA: Imagen sin proporción áurea.**

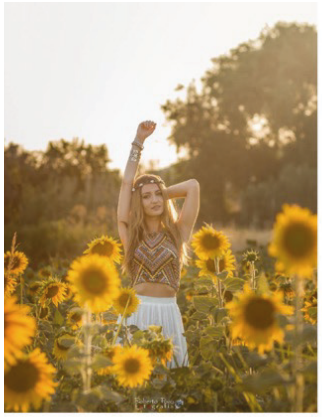


Figura 55: Fotografía sin proporción áurea. Fuente: Roberto Pozo Peraita.

En la imagen representada, el fotógrafo Roberto Pozo Peraita, se ha decantado por resaltar a la joven en el centro de la imagen, sin emplear la proporción áurea en dicho encuadre.

6.3. Estudio estadístico sobre la elección de logos

Para confirmar nuestra hipótesis realizamos una encuesta, con las doce figuras ya creadas en el apartado anterior. Este cuestionario contenía nueve preguntas entre ellas se preguntó la edad, el nivel de estudios y el género. El resto de cuestiones consistían en elegir acerca de qué logo o fotografía resultaba más atractiva visualmente. En cada pregunta se daba a elegir entre un logotipo con proporción áurea o sin ella, con el objetivo de comprobar nuestra hipótesis.

Se consiguió una muestra de 703 personas y se van a analizar los datos obtenidos con la idea de inferir a la población general las conclusiones obtenidas de la muestra.

6.3.1. Análisis descriptivo

En cuanto a la edad de los encuestados se establecieron 4 rangos de edad, como se observa en el gráfico se cubrieron de forma equitativa los cuatro rangos, estando así todas las edades bien representadas en nuestra muestra.

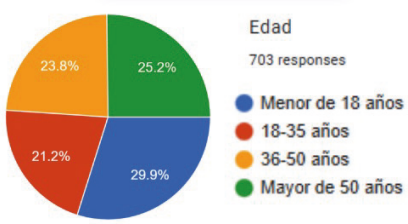


Figura 56: Elaboración propia

En relación al nivel de estudios, nuestra muestra no está equitativamente distribuida dado que mayoritariamente la han contestado personas con estudios universitarios y con estudios de Bachillerato o equivalente, estando muy poco representadas las personas con estudios primarios.

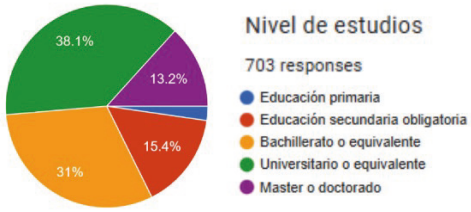


Figura 57: Elaboración propia

Del siguiente gráfico se obtiene que el género en la muestra obtenida ha sido mayoritariamente el femenino, casi el doble que el masculino.

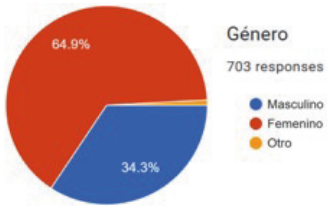


Figura 58: Elaboración propia

A la hora de elegir entre los dos logos generados con estrellas, el 79.9% de los encuestados eligieron el que tenía proporción áurea, el logo A.



Figura 59: Elaboración propia

En cuanto a los logos generados con triángulos, solo el 44.5% de los encuestados eligieron el que tenía proporción áurea, el logo B.



Figura 60: Elaboración propia

En la siguiente elección, la de los logos generados con espirales, eligen correctamente el logo con proporción áurea (logo A) un 69.4% de los encuestados.

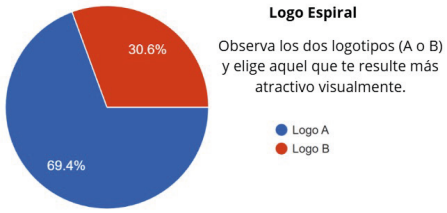


Figura 61: Elaboración propia

Llegamos a la elección entre los logos con la letra "D" y nuevamente eligen correctamente el logo con proporción áurea (logo B) un 66.9% de los encuestados.

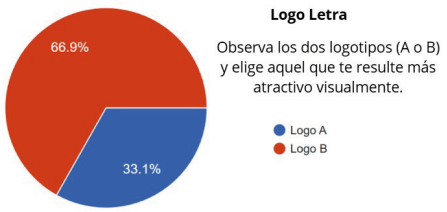


Figura 62: Elaboración propia

La última elección entre logos que se les plantea es la del logo con el eslogan de texto. En esta ocasión vuelven a elegir correctamente el logo con proporción áurea (logo A) un 58.3% de los encuestados.

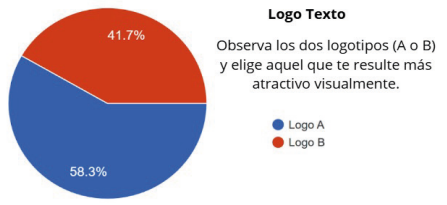


Figura 63: Elaboración propia

Para terminar, se pide que elijan entre dos fotografías muy similares eligiendo también con un 72.5% la foto A que es la que tenía proporción áurea.

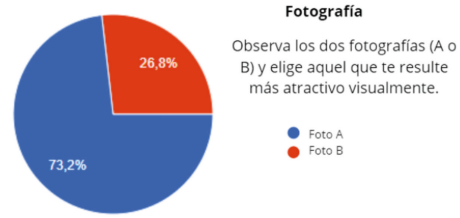


Figura 64: Elaboración propia

Se puede concluir que salvo en una de las elecciones, todos los encuestados se han sentido atraídos por los logos o imágenes con proporción áurea, lo cual avala nuestra hipótesis.

6.3.2. Análisis de la dependencia o independencia entre variables. Estudio de la Chi Cuadrado

Se ha estudiado si la edad de los encuestados, el género o sus estudios realizados influyen a la hora de elegir logos con proporción áurea. Para ello se ha analizado con la prueba estadística del Chi Cuadrado (χ^2) si existe una asociación significativa entre las variables cualitativas anteriores. Así pues, para cada pregunta realizada en la encuesta se han comparado las frecuencias observadas en nuestra muestra con las frecuencias que se esperarían si no hubiera relación (hipótesis nula).

1. ¿Existe asociación entre la edad y la influencia de la proporción áurea en la toma de decisión?

En todos los casos se considera como hipótesis nula y como hipótesis alternativa las siguientes

Ho = No hay relación entre la edad y la influencia de la proporción áurea en la toma de decisión

H1: Sí existe relación.

a) LOGOS DE LAS ESTRELLAS

Tabla de contingencia

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo A	160	119	147	136	562
	Logo B	50	30	20	41	141
	Total	210	149	167	177	703

FRECUENCIAS ESPERADAS

$E_{ij} = \frac{n_{i\bullet} * n_{\bullet j}}{n}$

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo A	167,88	119,12	133,50	141,50	562,00
	Logo B	42,12	29,88	33,50	35,50	141,00
	Total	210,00	149,00	167,00	177,00	703,00

		Edad (%)				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo A	76%	80%	88%	77%	80%
	Logo B	24%	20%	12%	23%	20%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%

$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo A	0,37	0,00	1,36	0,21	1,95
	Logo B	1,47	0,00	5,44	0,85	7,76
	Total	1,84	0,00	6,80	1,07	9,71

Tabla 1: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos de las estrellas y la edad. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 9.71, mayor que el valor esperado que es de 7.81. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que en esta pregunta se ha encontrado relación entre ambas variables. No obstante, cuando se calcula el coeficiente V de Cramer, que mide cómo de fuerte es esta relación, se obtiene que V=0.118. El coeficiente de Cramer puede tomar valores entre 0 y 1, de modo que cuanto más cerca de 0 estemos la dependencia es muy poco significativa o despreciable y cuanto más cerca del 1 estemos la dependencia es muy fuerte. Por tanto, siguiendo la escala, se puede afirmar que la dependencia entre las variables es muy débil.

b) LOGOS DE LOS TRIÁNGULOS

Tabla de contingencia

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo B	80	49	83	101	313
	Logo A	130	100	84	76	390
	Total	210	149	167	177	703

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo B	93,50	66,34	74,35	78,81	313,00
	Logo A	116,50	82,66	92,65	98,19	390,00
	Total	210,00	149,00	167,00	177,00	703,00

		Edad (%)				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo B	38%	33%	50%	57%	45%
	Logo A	62%	67%	50%	43%	55%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo B	1,95	4,53	1,01	6,25	13,74
	Logo A	1,56	3,64	0,81	5,02	11,02
	Total	3,51	8,17	1,81	11,27	24,76

Tabla 2: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos de los triángulos y la edad. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 24.76, mayor que el valor esperado que es de 7.81. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula, pero, como el coeficiente de Cramer es 0.188, se puede afirmar también que la dependencia entre las variables es muy débil.

c) LOGOS DE LAS ESPIRALE

Tabla de contingencia

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo A	156	113	117	102	488
	Logo B	54	36	50	75	215
	Total	210	149	167	177	703

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo A	145,78	103,43	115,93	122,87	488,00
	Logo B	64,22	45,57	51,07	54,13	215,00
	Total	210,00	149,00	167,00	177,00	703,00

		Edad (%)				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo A	74%	76%	70%	58%	69%
	Logo B	26%	24%	30%	42%	31%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo A	0,72	0,89	0,01	3,54	5,16
	Logo B	1,63	2,01	0,02	8,04	11,70
	Total	2,34	2,89	0,03	11,59	16,86

Tabla 3: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos de espirales y la edad. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 16.86, mayor que el valor esperado que es de 7.81. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula, pero, como el coeficiente de Cramer es 0.155, se puede afirmar de nuevo que la dependencia entre las variables es muy débil.

d) LOGOS CON LA LETRA D

Tabla de contingencia

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo B	147	93	127	103	470
	Logo A	63	56	40	74	233
	Total	210	149	167	177	703

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo B	140,40	99,62	111,65	118,34	470,00
	Logo A	69,60	49,38	55,35	58,66	233,00
	Total	210,00	149,00	167,00	177,00	703,00

		Edad (%)				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo B	70%	62%	76%	58%	67%
	Logo A	30%	38%	24%	42%	33%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo B	0,31	0,44	2,11	1,99	4,85
	Logo A	0,63	0,89	4,26	4,01	9,78
	Total	0,94	1,33	6,37	6,00	14,63

Tabla 4: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos triángulo y la edad. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 14.63, mayor que el valor esperado que es de 7.81. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula, pero, como el coeficiente de Cramer es 0.144, se puede afirmar una vez más que la dependencia entre las variables es muy débil.

e) LOGOS CON TEXTO

Tabla de contingencia

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo A	119	85	96	110	410
	Logo B	91	64	71	67	293
	Total	210	149	167	177	703

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo A	122,48	86,90	97,40	103,23	410,00
	Logo B	87,52	62,10	69,60	73,77	293,00
	Total	210,00	149,00	167,00	177,00	703,00

		Edad (%)				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo A	57%	57%	57%	62%	58%
	Logo B	43%	43%	43%	38%	42%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
LOGOTIPO	Logo A	0,10	0,04	0,02	0,44	0,60
	Logo B	0,14	0,06	0,03	0,62	0,85
	Total	0,24	0,10	0,05	1,07	1,45

Tabla 5: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos con texto y la edad. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 1.45, menor que el valor esperado que es de 7.81. Esta vez se acepta la hipótesis nula de independencia entre las variables

f) FOTOGRAFÍAS:

Tabla de contingencia

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
FOTOGRAFÍA	Foto A	148	108	133	127	516
	Foto B	62	41	34	50	187
	Total	210	149	167	177	703

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
FOTOGRAFÍA	Foto A	154,14	109,37	122,58	129,92	516,00
	Foto B	55,86	39,63	44,42	47,08	187,00
	Total	210,00	149,00	167,00	177,00	703,00

		Edad (%)				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
FOTOGRAFÍA	Foto A	70%	72%	80%	72%	73%
	Foto B	30%	28%	20%	28%	27%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%

		Edad				
		Menor de 18 años	18-35 años	36-50 años	Mayor de 50 años	Total
FOTOGRAFÍA	Foto A	0,24	0,02	0,89	0,07	1,21
	Foto B	0,67	0,05	2,45	0,18	3,35
	Total	0,92	0,06	3,33	0,25	4,56

Tabla 6: Prueba Chi Cuadrado con pareja fotografías y la edad. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 4.56, menor que el valor esperado que es de 7.81. Esta vez se acepta la hipótesis nula de independencia entre las variables.

2. ¿Existe asociación entre el nivel de estudios de la población y la influencia de la proporción áurea en la toma de decisión?

a) LOGOS DE LAS ESTRELLAS

Tabla de contingencia

		Nivel de Estudios					
		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo A	10	77	181	218	76	562
	Logo B	6	31	37	50	17	124
	Total	16	108	218	268	93	686

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Nivel de Estudios					
		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo A	13,11	88,48	178,59	219,56	76,19	562,00
	Logo B	2,89	19,52	39,41	48,44	16,81	124,00
	Total	16,00	108,00	218,00	268,00	93,00	686,00

Nivel de Estudios (%)

		Menor de 18 años	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo A	63%	71%	83%	81%	82%	82%
	Logo B	38%	29%	17%	19%	18%	18%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Nivel de Estudios

		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo A	0,74	1,49	0,03	0,01	0,00	2,27
	Logo B	3,34	6,75	0,15	0,05	0,00	10,29
	Total	4,08	8,24	0,18	0,06	0,00	12,56

Tabla 7: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos de estrellas y el nivel de estudios. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 12.56, mayor que el valor esperado que es de 9.49. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula, pero, como el coeficiente de Cramer es 0.134, se vuelve a afirmar que la dependencia entre estas otras dos variables es muy débil.

b) LOGOS DE LOS TRIÁNGULOS

Tabla de contingencia

		Nivel de Estudios					
		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo B	6	37	99	125	46	313
	Logo A	10	71	119	143	47	343
	Total	16	108	218	268	93	656

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Nivel de Estudios					
		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo B	7,63	51,53	104,02	127,87	44,37	313,00
	Logo A	8,37	56,47	113,98	140,13	48,63	343,00
	Total	16,00	108,00	218,00	268,00	93,00	656,00

Nivel de Estudios (%)

		Menor de 18 años	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo B	38%	34%	45%	47%	49%	48%
	Logo A	63%	66%	55%	53%	51%	52%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Nivel de Estudios

		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo B	0,35	4,10	0,24	0,06	0,06	4,81
	Logo A	0,32	3,74	0,22	0,06	0,05	4,39
	Total	0,67	7,84	0,46	0,12	0,11	9,21

Tabla 8: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos de los triángulos y el nivel de estudios. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 9.2, menor que el valor esperado que es de 9.49. En consecuencia, se acepta la hipótesis nula de independencia entre ambas variables.

c) LOGOS DE LAS ESPIRALES

Tabla de contingencia

		Nivel de Estudios					
		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo A	9	76	159	188	56	488
	Logo B	7	32	59	80	37	178
	Total	16	108	218	268	93	666

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Nivel de Estudios					
		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo A	11,72	79,14	159,74	196,37	68,14	488,00
	Logo B	4,28	28,86	58,26	71,63	24,86	178,00
	Total	16,00	108,00	218,00	268,00	93,00	666,00

Nivel de Estudios (%)

		Menor de 18 años	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo A	56%	70%	73%	70%	60%	73%
	Logo B	44%	30%	27%	30%	40%	27%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Nivel de Estudios

		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo A	0,63	0,12	0,00	0,36	2,16	3,28
	Logo B	1,73	0,34	0,01	0,98	5,93	9,00
	Total	2,37	0,46	0,01	1,34	8,10	12,28

Tabla 9: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos de espirales y el nivel de estudios. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 12.28, mayor que el valor esperado que es de 9.49. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula, pero, como el coeficiente de Cramer es 0.132, se puede afirmar nuevamente que la dependencia entre las variables es muy débil.

d) LOGOS CON LA LETRA "D"

Tabla de contingencia

		Nivel de Estudios					
		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo B	10	65	157	175	63	470
	Logo A	6	43	61	93	30	203
	Total	16	108	218	268	93	673

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Nivel de Estudios					
		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo B	11,17	75,42	152,24	187,16	64,95	470,00
	Logo A	4,83	32,58	65,76	80,84	28,05	203,00
	Total	16,00	108,00	218,00	268,00	93,00	673,00

Nivel de Estudios (%)

		Menor de 18 años	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo B	63%	60%	72%	65%	68%	70%
	Logo A	38%	40%	28%	35%	32%	30%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Nivel de Estudios

		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo B	0,12	1,44	0,15	0,79	0,06	2,56
	Logo A	0,29	3,34	0,34	1,83	0,14	5,93
	Total	0,41	4,78	0,49	2,62	0,19	8,49

Tabla 10: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos con letra D y el nivel de estudios. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 8.49, menor que el valor esperado que es de 9.49. En consecuencia, se acepta la hipótesis nula de independencia entre las variables.

e) LOGOS CON TEXTO

Tabla de contingencia

		Nivel de Estudios					
		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo A	8	67	122	159	54	410
	Logo B	8	41	96	109	39	254
	Total	16	108	218	268	93	664

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Nivel de Estudios					
		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo A	9,88	66,69	134,61	165,48	57,42	410,00
	Logo B	6,12	41,31	83,39	102,52	35,58	254,00
	Total	16,00	108,00	218,00	268,00	93,00	664,00

Nivel de Estudios (%)

		Menor de 18 años	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo A	50%	62%	56%	59%	58%	62%
	Logo B	50%	38%	44%	41%	42%	38%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Nivel de Estudios

		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Logo A	0,36	0,00	1,18	0,25	0,20	2,00
	Logo B	0,58	0,00	1,91	0,41	0,33	3,23
	Total	0,93	0,00	3,09	0,66	0,53	5,22

Tabla 11: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos con texto y el nivel de estudios. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 5.22, menor que el valor esperado que es de 9.49. Nuevamente se acepta la hipótesis nula de independencia entre las variables.

f) FOTOGRAFÍAS:

Tabla de contingencia

		Nivel de Estudios					
		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Foto A	9	87	151	203	66	516
	Foto B	7	21	67	65	27	160
	Total	16	108	218	268	93	676

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Nivel de Estudios					
		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Foto A	12,21	82,44	166,40	204,57	70,99	516,00
	Foto B	3,79	25,56	51,60	63,43	22,01	160,00
	Total	16,00	108,00	218,00	268,00	93,00	676,00

Nivel de Estudios (%)

		Menor de 18 años	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Foto A	56%	81%	69%	76%	71%	76%
	Foto B	44%	19%	31%	24%	29%	24%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Nivel de Estudios

		Educación primaria	Educación secundaria obligatoria	Bachillerato o equivalente	Universitario o equivalente	Master o doctorado	Total
LOGOTIPO	Foto A	0,85	0,25	1,43	0,01	0,35	2,89
	Foto B	2,73	0,81	4,60	0,04	1,13	9,31
	Total	3,57	1,07	6,02	0,05	1,48	12,19

Tabla 12: Prueba Chi Cuadrado con pareja fotografías y el nivel de estudios. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 12.19, mayor que el valor esperado que es de 9.49. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula, pero como el coeficiente de Cramer es 0.132, se puede afirmar nuevamente que la dependencia entre las variables es muy débil.

3. ¿Existe asociación entre el género de la población y la influencia de la proporción áurea en la toma de decisión?

a) LOGOS DE LAS ESTRELLAS

Tabla de contingencia

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo A	185	372	5	562
	Logo B	56	84	1	141
	Total	241	456	6	703

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo A	192,66	364,54	4,80	562,00
	Logo B	48,34	91,46	1,20	141,00
	Total	241,00	456,00	6,00	703,00

		Género (%)			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo A	77%	82%	83%	80%
	Logo B	23%	18%	17%	20%
	Total	100%	100%	100%	100%

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo A	0,30	0,15	0,01	0,47
	Logo B	1,21	0,61	0,03	1,86
	Total	1,52	0,76	0,04	2,32

Tabla 13: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos de estrellas y el género. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 2.32, menor que el valor esperado que es de 5.99. En consecuencia, se acepta la hipótesis nula de independencia entre el género y la influencia de la proporción áurea.

b) LOGOS DE LOS TRIÁNGULOS

Tabla de contingencia

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo B	127	185	1	313
	Logo A	114	271	5	390
	Total	241	456	6	703

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo B	107,30	203,03	2,67	313,00
	Logo A	133,70	252,97	3,33	390,00
	Total	241,00	456,00	6,00	703,00

		Género (%)			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo B	53%	41%	17%	45%
	Logo A	47%	59%	83%	55%
	Total	100%	100%	100%	100%

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo B	3,62	1,60	1,05	6,26
	Logo A	2,90	1,28	0,84	5,03
	Total	6,52	2,89	1,89	11,29

Tabla 14: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos de trángulos y el género. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 11.29, mayor que el valor esperado que es de 5.99. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula, pero, como el coeficiente de Cramer es 0.127, se afirma nuevamente que la dependencia entre las variables es muy débil.

c) LOGOS DE LAS ESPIRALES

Tabla de contingencia

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo A	160	324	4	488
	Logo B	81	132	2	215
	Total	241	456	6	703

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo A	167,29	316,54	4,17	488,00
	Logo B	73,71	139,46	1,83	215,00
	Total	241,00	456,00	6,00	703,00

		Género (%)			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo A	66%	71%	67%	69%
	Logo B	34%	29%	33%	31%
	Total	100%	100%	100%	100%

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo A	0,32	0,18	0,01	0,50
	Logo B	0,72	0,40	0,01	1,14
	Total	1,04	0,57	0,02	1,64

Tabla 15: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos de espirales y el género. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 1.64, menor que el valor esperado que es de 5.99. En consecuencia, se acepta la hipótesis nula de independencia entre las variables.

d) LOGOS CON LA LETRA D

Tabla de contingencia

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo B	170	296	4	470
	Logo A	71	160	2	233
	Total	241	456	6	703

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo B	161,12	304,86	4,01	470,00
	Logo A	79,88	151,14	1,99	233,00
	Total	241,00	456,00	6,00	703,00

		Género (%)			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo B	71%	65%	67%	67%
	Logo A	29%	35%	33%	33%
	Total	100%	100%	100%	100%

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo B	0,49	0,26	0,00	0,75
	Logo A	0,99	0,52	0,00	1,51
	Total	1,48	0,78	0,00	2,25

Tabla 16: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos de la letra D y el género. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 2.25, menor que el valor esperado que es de 5.99. En consecuencia, se acepta la hipótesis nula de independencia entre las variables.

e) LOGOS CON TEXTO

Tabla de contingencia

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo A	160	324	4	488
	Logo B	81	132	2	215
	Total	241	456	6	703

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo A	167,29	316,54	4,17	488,00
	Logo B	73,71	139,46	1,83	215,00
	Total	241,00	456,00	6,00	703,00

		Género (%)			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo A	66%	71%	67%	69%
	Logo B	34%	29%	33%	31%
	Total	100%	100%	100%	100%

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
LOGOTIPO	Logo A	0,32	0,18	0,01	0,50
	Logo B	0,72	0,40	0,01	1,14
	Total	1,04	0,57	0,02	1,64

Tabla 17: Prueba Chi Cuadrado con pareja de logos con texto y el género. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 1.64 menor que el valor esperado que es de 5.99. Nuevamente se acepta la hipótesis nula de independencia entre las variables.

f) FOTOGRAFÍAS:

Tabla de contingencia

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
FOTOGRAFÍA	Foto A	176	336	4	516
	Foto B	65	120	2	187
	Total	241	456	6	703

FRECUENCIAS ESPERADAS

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
FOTOGRAFÍA	Foto A	176,89	334,70	4,40	516,00
	Foto B	64,11	121,30	1,60	187,00
	Total	241,00	456,00	6,00	703,00

		Género (%)			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
FOTOGRAFÍA	Foto A	73%	74%	67%	73%
	Foto B	27%	26%	33%	27%
	Total	100%	100%	100%	100%

		Género			
		Masculino	Femenino	Otro	Total
FOTOGRAFÍA	Foto A	0,00	0,01	0,04	0,05
	Foto B	0,01	0,01	0,10	0,13
	Total	0,02	0,02	0,14	0,18

Tabla 18: Prueba Chi Cuadrado con pareja de fotografías y el género. Elaboración propia.

El valor obtenido para la χ^2 es de 0.18, menor que el valor esperado que es de 5.99. En consecuencia, se acepta la hipótesis nula de independencia entre las variables.

7. CONCLUSIONES Y LIMITACIONES

7.1 Conclusiones

Después de llevar a cabo esta investigación sobre la proporción áurea en distintos campos, centrándose en el diseño de logotipos, se han obtenido los siguientes resultados:

En primer lugar, se ha comprobado que el uso de GeoGebra fue clave tanto para el análisis de los logotipos como para crear las figuras del marco teórico y el diseño propio de los logos. Esto permitió emplear herramientas matemáticas para obtener mayor precisión de los logos y evitar un posible margen de error.

En segundo lugar, queda verificado que según los análisis realizados algunos logotipos como Twitter, Pepsi o Toyota, no cumplen con exactitud la proporción áurea, lo que deriva a concluir que no todos los logos que se consideran áureos, se ajustan de manera perfecta al número de oro.

Del análisis de la prueba del chi cuadrado, se puede inferir que, ni la edad, ni el género, ni los estudios de la población afectan a la hora de elegir entre logos o imágenes creadas con la proporción áurea y logos o imágenes sin dicha proporción. En el caso de la edad, se ha podido ver que en cuatro de las seis elecciones entre logos y foto podría existir alguna dependencia, pero tan débil que no es nada significativa. En el caso del nivel de estudios, ha ocurrido esto mismo en tres de las seis elecciones. Por último, si se analiza el género, en cinco de las seis elecciones se ha comprobado que se acepta la independencia entre las variables.

Por todo ello se puede decir que se verifica nuestra hipótesis inicial: La sociedad actual siente preferencia por logotipos que contienen la proporción áurea. Esta afirmación se ve también reafirmada por el análisis descriptivo realizado.

7.2 Limitaciones

A pesar de los resultados obtenidos, este proyecto presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas.

En primer lugar, los logotipos analizados no corresponden a las versiones originales, ya que estas no se encuentran publicadas en sus páginas oficiales. Las imágenes utilizadas fueron obtenidas a partir de páginas especializadas en logos, por lo que podrían presentar ligeras distorsiones. Esta circunstancia puede dificultar la verificación exacta de aquellos logos que no cumplían la proporción áurea a la perfección.

En segundo lugar, también enfrentamos varias dificultades importantes. Se utilizó el programa GeoGebra, un programa digital que permite la creación de construcciones matemáticas, que no está enfocado en analizar logotipos, por ello fue necesario adaptar el estudio a las herramientas disponibles en dicha aplicación.

Por último, partes de la experimentación pueden no ser del todo concluyentes. En la encuesta a pesar de tener una muestra bastante amplia, los participantes pueden haber respondido la prueba sin interés ni esfuerzo.

Estas limitaciones dan la posibilidad de seguir la investigación en el futuro para obtener resultados más completos y fieles a la realidad.

8. PRÓXIMAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La proporción áurea constituye un campo de estudio amplio y diverso; por ello, se proponen a continuación tres posibles líneas de investigación futura, entre las muchas que podrían desarrollarse.

El número de oro en la arquitectura moderna.

Una línea de investigación relevante, que se propone es trasladar el análisis hacía el estudio de edificios, monumentos o esculturas, lo que requeriría una base documental más extensa. Este proyecto permitiría diseñar edificaciones fundamentadas en la proporción áurea mediante herramientas académicas.

La sección áurea en el rostro humano

Se plantea como línea de investigación clave, estudiar la divina proporción en la concepción del rostro humano a lo largo de diversas épocas y culturas, atendiendo a su papel en la configuración de los cánones de belleza.

La filotaxia y su relación con la sección áurea

La filotaxia estudia la disposición de flores semillas y hojas y muestra en múltiples casos, patrones vinculados con el número de oro y la sucesión de Fibonacci.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ariel Daza - Diseñador. (2020, 4 octubre). *La Proporción Áurea en el Diseño Gráfico* - ¿Cómo crear «logos» usándola? [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=NhuEhSAQx-8
- Aulatopia. (s.f.). *Aplicaciones y utilidades*. Recuperado de https://aulatopia.com/aplicaciones-y-utilidades/
- Briceño, G., V. (2021, 2 diciembre). *Número áureo | Qué es, características, historia, cuánto vale, aplicaciones*. Euston96. https://www.euston96.com/numero-aureo/
- Composición visual: zona áurea. (s. f.). *Pensamientos maupinianos*. https://www.pensamientosmaupinianos.com/2014/10/composicion-visual-zona-aurea.html
- Canon Creators. (2024, 30 diciembre). *La regla áurea en fotografía*. https://canon-creators.com/blog/la-regla-aurea-en-fotografia-f89cd
- Cárdenas, L. (2025, 13 septiembre). *Proporción Áurea en Diseño Gráfico: Qué es y cómo se aplica [Guía 2025]*. Conejo Blanco Agencia Digital. https://conejoblancoad.com/que-es-la-proporcion-aurea-y-como-se-aplica-en-diseno-grafico/
- Ciccarelli, D. (2022, 19 abril). *Uso de la proporción áurea para crear equilibrio en el diseño de logos*. https://es.freelogodesign.org/blog/2022/04/19/uso-de-la-proporcion-aurea-para-crear-equilibrio-en-el-diseno-de-logos
- De Blois, A. (2023, 31 marzo). *Proporción áurea: explicación sencilla [Con ejemplos]*. Blog del Fotógrafo. https://www.blogdelfotografo.com/proporcion-aurea/
- Freire, Noelia. *"La proporción áurea: cuando las matemáticas y la naturaleza se encuentran." National Geographic España,* 26 dic. 2023, https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/proporcion-aurea-explicacion-patrones-naturaleza_20723.
- GraphicBRO. (2016, 18 de julio). *Estudio de un Logotipo III - PEPSI*. https://graphicbro.blogspot.com/2016/07/estudio-de-un-logotipo-iii-pepsi.html
- *Honda logo PNG, Honda logo Transparent background - FreeIconsPNG*. (s. f.). https://www.freeiconspng.com/images/honda-logo-png
- *Honda logo*. (2022, 29 marzo). https://logos-marcas.com/honda-logo/
- Livio, M (2002). *The Golden Ratio*. Planeta
- Llasera, J. P. (2024, 9 noviembre). *La proporción áurea: Qué es y cómo se aplica en diseño gráfico*. Hey Jaime. https://heyjaime.com/blog/proporcion-aurea/
- Logo de Apple. (2024, 27 agosto). *La historia y el significado del logotipo, la marca y el símbolo. 1000Marcas*. https://1000marcas.net/logo-apple/
- Logos-World.net. (2025, 3 de enero). *Apple logo, symbol, meaning, history, PNG, brand*. https://logos-world.net/apple-logo/
- Luque Ordóñez, J. (2022). *El número áureo en la naturaleza y en las artes*. https://www.acta.es/medios/articulos/matematicas/120001.pdf
- Marina. (s. f.). *historia del número phi y definición*. https://marina-numerodeoro.blogspot.com/2011/10/historia-del-numero-phi.html
- Markowsky, G. (1992). *Misconceptions about the golden ratio. The College Mathematics Journal*. https://www.jstor.org/stable/2686193
- Martínez, M. (2022). *Propiedades geométricas de polígonos regulares y aplicaciones didácticas* (Trabajo de Fin de Máster). Universidad de Valladolid. Recuperado de https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/63441/1/TFM-G1876.pdf
- Matius. (2020, 10 marzo). Qué es la proporción áurea y sus diferentes usos -. *publicidad pixel*. https://publicidadpixel.com/proporcion-aurea/
- Meisner, G. (2023, 23 abril). *History of the Golden Ratio*. The Golden Ratio: Phi, 1.618. https://www.goldennumber.net/golden-ratio-history/
- Mingüihni, M. (2019, 10 de diciembre). *Qué es la proporción áurea y cómo usarla en tus fotografías*. Fotografía Esencial. Recuperado el 2 de octubre de 2025, de https://www.fotografiaesencial.com/blog/que-es-la-proporcion-aurea-y-como-usarla-en-tus-fotografias/
- Montpeó, P. (2014, 11 diciembre). *La proporción áurea no siempre ha estado presente en el logo de Apple. Applesencia*. https://applesencia.com/2013/05/proporcion-aurea-logo-apple
- Neumeyer, H. (2022, 28 septiembre). *La proporción áurea*. MYPOSTER Blog. https://www.myposter.es/magazin/proporcion-aurea-regla-tercios/#La_proporcion_aurea_y_la_regla_de_los_tercios_La_armonia_en_la_composicion_de_una_imagen
- "Nodo 614: Matemático." *Universidad de Chile – DIM*. https://www.dim.uchile.cl/~simetria/matematico/nodo614.html.

- Novo Muñoz, P. (2023). *TFG Ene23 Novo Muñoz Patricia* (Trabajo de Fin de Grado). Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/72567/1/TFG_Ene23_Novo_Munoz_Patricia.pdf
- Pereira, J. (2015, 8 de marzo). *La "regla de los tercios" vs proporción áurea: mitos y leyendas*.https://www.jpereira.net/articulos/la-regla-de-los-tercios-vs-proporcion-aurea-mitos-y-leyendas/?utm_source=chatgpt.com
- Pirela Sojo, F. (2024, 24 octubre). *Proporción áurea*. Enciclopedia Concepto. Recuperado de https://concepto.de/proporcion-aurea/
- Publicidad Pixel. (s.f.). *Qué es la proporción áurea y sus diferentes usos*. Recuperado de https://publicidadpixel.com/proporcion-aurea/
- Reino Minerales. (2025, 28 abril). *Triángulo de Oro - significados, símbolos y beneficios - Geometría sagrada - Reino minerales*. https://www.reino-minerales.es/geometria-sagrada/triangulo-de-oro/
- Robles, C. G. (2023, 2 noviembre). *La Proporción áurea: Qué es y cómo integrarla en tus fotos*. *Foto24*. https://blog.foto24.com/proporcion-aurea-que-es/
- Sánchez, J. (2024, 4 febrero). *Proporción áurea*. *Arquitectura Pura*. https://arquitecturapura.com/16074/proporcion-aurea/
- SACIT ÁMETAM: (s. f.). *Ángulo de oro: cómo gira la naturaleza*. https://revistasacitametam.blogspot.com/2012/09/angulo-de-oro.html
- Segui, P. (2025, 5 julio). *Proporción áurea: Qué es y cómo encontrarla*. OVACEN. https://ovacen.com/proporcion-aurea-que-es/#google_vignette
- Site map - *The golden ratio: PHI, 1.618*. (2016, 11 abril). *The Golden Ratio: Phi, 1.618*. https://www.goldennumber.net/site-map/
- Tito. (2025, 5 agosto). Proporción áurea y su aplicación en el diseño - Imprenta digiral T-ink: Factoría de color. *Tink - Factoria de color*. https://factoriadecolor.es/proporcion-aurea/
- *Toyota logo transparent background famous logos #6961 - Free Transparent PNG Logos*. (s. f.). freepnglogos.com. https://www.freepnglogos.com/images/toyota-car-logo-6961.html#google_vignette
- WikiHow. (2019, 15 marzo). *Cómo construir un rectángulo áureo: 8 Pasos*. wikiHow. https://es.wikihow.com/construir-un-rect%C3%A1ngulo-%C3%A1ureo
- World History Edu. (2024, 14 octubre). *Golden Ratio: origin story, meaning, & major facts*. https://worldhistoryedu.com/golden-ratio-origin-story-meaning-major-facts/

10. ANEXOS

Libro de GeoGebra, con todas las figuras diseñadas y analizadas, tanto de la experimentación como el marco teórico.

Encuesta.

¿La proporción áurea influye en nuestra decisión? (respuestas) - Google Sheets
Resultados de la encuesta.
(Abrir con cuenta de Educa Madrid)

Análisis de la encuesta con la prueba del chi cuadrado.
(Abrir con cuenta de Educa Madrid)