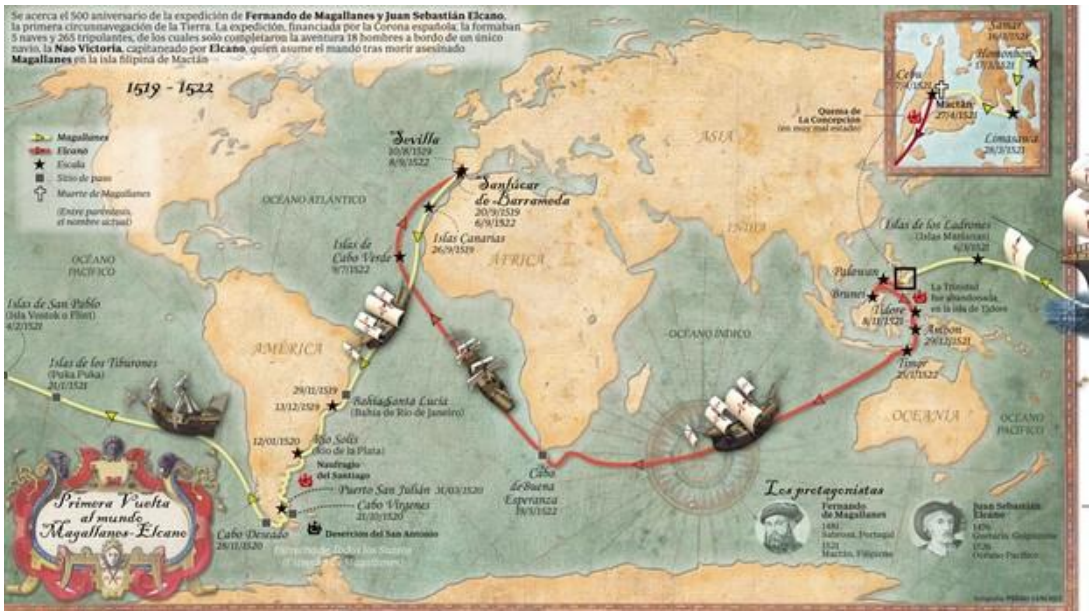
La vuelta al mundo de Magallanes - Elcano y la navegación astronómica de la época.



Resumen

La vuelta al mundo iniciada por Magallanes en el año 1519 y finalizada en 1522 por Elcano, es una de las grandes gestas realizadas por el hombre a lo largo de la historia. Supuso la consolidación de la primacía de la navegación Ibérica en el siglo XVI. Esta navegación estaba firmemente asentada en los avances técnicos que se dieron el siglo anterior, primero por parte de los navegantes portugueses y después por la corona de Castilla. Entre estos avances debemos citar el conocimiento de la astronomía como recurso para orientarse y fijar su posición en el océano, apoyándose en el uso que se hacia de distintas Efemérides y Tablas astronómicas elaboradas el siglo anterior, como fueron las de Regiomontano y Abraham Zacuto. Además hay que mencionar las mejoras logradas en las embarcaciones de la época, adaptándolas a la navegación oceánica, y la utilización de la brújula.

Así mismo el viaje de circunnavegación permitió el descubrimiento de los cielos del Hemisferio Sur de la Tierra, sólo parcialmente conocidos hasta entonces por el legado clásico y musulmán dejado durante la Edad Media a todo el occidente europeo.

En este artículo se aborda el conocimiento astronómico que tenían los marinos de aquel tiempo, en los métodos usados para obtener la latitud y la longitud de su nave, la orientación en los rumbos a seguir y la velocidad alcanzada. La observación del Sol y de las estrellas servían para la latitud y para localizar los Polos Celestes, mientras que los eclipses de luna y las ocultaciones de algún planeta se utilizaban, sin demasiado éxito, en la búsqueda de la longitud geográfica. Los textos escritos dejados por algunos de los marinos y exploradores de la época servirán de hilo conductor en el desarrollo y explicación de cada uno de los conceptos anteriormente expuestos.

Con el objetivo de presentar los cielos que iban observando los miembros de la expedicición magallánica, a medida que iban bajando en latitud por ambos hemisferios terrestres, se han elaborado unos planisferios celestes para la época, correspondientes a distintas latitudes norte y sur, y otro más detallado con las posiciones del Sol, la Luna y los cinco planetas conocidos entonces, para el día 1 de noviembre de 1520 a las 12 de la noche, momento en el que estaban atravesando el Estrecho de Magallanes

La vuelta al mundo de Magallanes-Elcano y la navegación astronómica de la época.

Fue durante estos días de confinamiento en casa, propiciado por la epidemia de coronavirus, cuando fue tomando cuerpo, poco a poco, este trabajo; aunque la idea surgió con anterioridad, motivada por dos hechos que sucedieron y que fijaron mi atención sobre el tema. El primero de ellos estuvo en la petición que hicieron al Aula de Astronomía de Fuenlabrada sobre su colaboración en los eventos que se están celebrando, para conmemorar el V centenario del viaje de circunnavegación a la Tierra, realizado a principios del siglo XVI por los dos marinos, dándole al trabajo, en la medida de lo posible, una visión astronómica. El segundo es más personal, consecuencia directa de mi interés en la gesta llevada a cabo por los españoles al comienzo de la Edad Moderna en el continente americano, recién descubierto por Cristóbal Colón en el año de 1492, y que en esos días eran objeto de mis lecturas históricas. Los nombres del Almirante, su hijo Hernando Colón, Vasco Núñez de Balboa, el padre Bartolomé de las Casas, soldados y aventureros como Bernal Díaz del Castillo y Alonso de Ojeda, cartógrafos como Juan de la Cosa y Américo Vespucio, todos ellos se amontonaban en mi mente, alimentando mi imaginación sobre ese continente desconocido aún para el europeo, sin olvidarme, por supuesto, de nuestro narrador del viaje Antonio Pigafetta, así como de otros muchos más que aquí no cito y que participaron en la empresa americana, a nivel institucional o simplemente personal.

La visión que se tiene hoy en día sobre estos hechos históricos y que siempre ha acompañado a los mismos en los siglos pasados, oscila entre aquellos que la defienden y admiran y otros que ven más sombras que luces en la misma y quisieran pasar página de ellos, o directamente la tergiversan y denigran. Yo por mi parte, desde mi posición de historiador, ya que la objetividad siempre ayuda, única y exclusivamente puedo decir sobre ella que puso en contacto a dos Mundos que, tarde o temprano, estaban destinados a encontrarse, y también a dos tipos de sociedades y de personas, unas en estado natural, sin contactos previos anteriores que se sepan con el exterior, y otras que sobrellevaban toda la carga de la cultura europea de la época, ni mejores ni peores que los nativos, pues solo eran " gente de su tiempo ", del que les tocó vivir a ellos, y del que ni siquiera eran conscientes de la transcendencia que su hechos tendrían en el futuro.

Desde esta perspectiva se puede conjugar y entender perfectamente, por ejemplo, la " Brevísima relación de la destrucción de las indias ", de fray Bartolomé de las Casas, con su carga genocida y de exageración en el relato, tan bien explotada posteriormente por las potencias europeas contrarias a la monarquía hispánica, con la épica legendaria reflejada en " Las cartas de la conquista de México ", redactadas y enviadas por Hernán Cortés al rey Carlos I para justificar ante el monarca las acciones que iba tomando en la conquista del imperio azteca.

Dejando ya la justificación del presente trabajo, es el momento de exponer los objetivos que pretendo conseguir con el desarrollo del mismo, y que son:

1º- Elaboración de unos planisferios celestes, diseñados para la época del viaje de circunnavegación (1519 - 1522), correspondientes a los hemisferios boreal y austral, y para unas latitudes norte y sur de 40º, 20º, 0º y otro más en particular, para la latitud de 54º sur, que es la que tiene el Estrecho de Magallanes. Estos planisferios nos permitirán conocer las constelaciones visibles entonces desde esas latitudes y también aproximarnos un poco al temor que debían sentir esos intrépidos marinos, cuando navegaban hacia el sur y se encontraban con un cielo que desconocían. Estos planisferios estarán representados teniendo todas sus estrellas corregidas por la precesión de los equinoccios en sus coordenadas ecuatoriales (α , δ), pero

no lo estarán por su movimiento propio, ya que éste es irrelevante dado el poco tiempo transcurrido desde entonces. El borde de los planisferios llega hasta un horizonte en el que se ven todas las estrellas con una declinación, (δ) de $\pm$ 45°.

2º- Realizar una interpretación astronómica de las citas de textos correspondientes a diferentes autores y que estén relacionados con los métodos utilizados para la navegación astronómica en general, o con un concepto geográfico o astronómico en particular.

3º- Contrastar un planisferio celeste elaborado para el hemisferio norte con otro del hemisferio sur y ver sus diferencias formales y de representación cartográfica.

4º- Apoyar, en la medida de lo posible, esta interpretación astronómica sobre un soporte matemático que la sustente o explique.

5º- Poder describir, mediante la utilización del planisferio adecuado y el uso de la aplicación " Efemérides astronómicas. dyn ", que se encuentra en Internet, el cielo que pudo verse en un momento temporal concreto o en un lugar determinado, disponiendo sobre él los planetas visibles entonces, además del Sol y la Luna. La recreación celeste será la perteneciente al cielo que pudo verse el 1 de noviembre de 1520 al atravesar la expedición el Estrecho de Magallanes.

- Valorar el estado de la navegación oceánica a finales del siglo XV y comienzos del XVI, evaluando sus métodos marineros astronómicos y sus instrumentos de medición.

El desarrollo de los contenidos que a continuación se realizarán, previo análisis del contexto histórico en el que tuvieron lugar los hechos descritos, se estructurarán alrededor del concepto a desarrollar o hecho histórico astronómico a interpretar, sacados de las citas de los mismos presentes en distintos textos escritos dejados por algunos señalados protagonistas que los vivieron o los contaron. Irán acompañados por los cálculos matemáticos necesarios para la explicación o interpretación adecuada del hecho.

<u>El marco histórico</u>

El contexto histórico en el que se desarrollo la Vuelta al Mundo corresponde, en términos generales, a un momento de transición de la Edad Media a la Moderna, caracterizado en la Europa occidental por el triunfo del Humanismo en lo social, encarnado en la enorme figura de Erasmo de Róterdam (1466 - 1536), del advenimiento del Renacimiento en lo cultural, y por la aparición de las monarquías autoritarias en lo político.

En esta parte del continente europeo, la secular pugna entre la nobleza y la monarquía se ha decantado claramente por esta última, que tuvo ya las manos libres para acometer las grandes reformas de estado acordes a los nuevos tiempos, como fueron la unificación territorial, ya sea mediante uniones matrimoniales entre las distintas casas reales , o bien por la integración de los estados provinciales dentro de ellas, pero conservando, eso sí, sus instituciones personales, todavía enraizadas en el Medievo; esta unificación se asentaba jurídicamente sobre unos Tribunales de Justicia y unas Cancillerías Reales, que actuaban sobre todo el territorio del monarca y, especialmente y no por ello menos importante, sobre la creación de un ejército permanente, que defienda los intereses reales cuando falle la diplomacia exterior entre las diferentes Casas Dinásticas europeas.

Al mismo tiempo, el otro poder medieval que era la Iglesia, experimenta una fase de debilidad interna, lo cual originó una eclosión de movimientos religiosos que llevarían al enfrentamiento dentro de los estados, a las sangrientas guerras de religión que tuvieron lugar y a la ruptura de ciertas comunidades con el Papa-

do de Roma, una institución que había perdido ya todo su prestigio, pasando a ser material mente un juguete utilizado por los reinos más poderosos en sus luchas por la hegemonía continental.
Los grandes personajes, protagonistas directos de este momento histórico en la primera mitad del siglo XVI son el rey de Francia Francisco I (1515 - 1547), el inglés Enrique VIII (1509 - 1547) y el rey de España Carlos I (1516 - 1556), además de Emperador del Sacro Imperio Romano Germánico, aunque en Alemania la supervivencia de los numerosos esta dos medievales conducía aún a la fragmentación de la autoridad imperial y a la desintegración del territorio en numerosos Principados.
En el Mediterráneo oriental la situación es diferente, solo existe un poder, el establecido por los turcos otomanos, brillando en todo su esplendor Solimán el Magnífico (1520 - 1566) . Desde la caída de Constantinopla en 1453, todo el Próximo Oriente está controlado por ellos, incluyendo la navegación y el comercio terrestre con el Lejano Oriente, de donde procedían las especias y la seda, productos hasta entonces comercializados por las potencias marítimas italianas de Génova y Venecia y a los que ahora no pueden acceder.
La imposibilidad de comerciar por vía terrestre con estos productos exóticos, de gran valor en los mercados europeos, fue la causa de que se buscaran unas rutas alternativas para llegar hasta ellos, y es entonces cuando entran en juego dos reinos de la fachada atlántica que ocupan el viejo solar ibérico, dos reinos con amplias posibilidades de expansión, que ya han finalizado su cruzada religiosa contra el Islam, pero que aún siguen imbuidos de esa inercia militar y de aventura. Me estoy refiriendo a Portugal y a Castilla.
Ellos también han pasado por el mismo proceso de consolidación ante la nobleza levantisca. El rey portugués Juan II (1481 - 1495) no tuvo ningún reparo en entregar al Duque de Braganza al verdugo en 1483, ni de eliminar con su propio cuchillo al Duque de Viseu al año siguiente, dejando libre el camino para organizar el estado moderno de Portugal y así poder retomar de nuevo las exploraciones oceánicas, un poco olvidadas desde la muerte del Infante Enrique el Navegante (1394 - 1460). Estas exploraciones alcanzaron la cima durante el reinado de Manuel I (1495 - 1521), cuando se cierra definitivamente el control de la ruta hacia la India, desde el momento en el que Vasco de Gama llega a Calicut en 1498. El camino recorrido hasta lograr el objetivo final había sido largo y difícil, y había abarcado todo el siglo XV, desde que se tomó Ceuta en 1415, prosiguió después con las colonizaciones de los archipiélagos de Azores, Madeira y Cabo Verde y, bajando siempre en latitud hacia el sur a lo largo de la costa africana, alcanzan con Bartolomé Díaz, el hito de doblar por primera vez el Cabo de las Tormentas, posteriormente llamado de Buena Esperanza, abriendo la ruta en la buena dirección hacia la India y consolidando poco a poco todo el imperio marítimo portugués en el Océano Indico. Todos estos amplios territorios quedaron bajo el gobierno de un Virrey, siendo Francisco de Almeida el primero de ellos en el año de 1505.
Un poco antes, en 1500, se produce la presencia portuguesa en las costas de Suramérica por primera vez, cuando Alvarez Cabral es desviado, supuestamente por una tormenta, de su ruta hacia la India y alcanza las costas de Brasil. Este territorio pertenecía a la jurisdicción portuguesa según quedó determinado en el Tratado de Tordesillas de 1494, firmado por los Reyes Católicos y el rey portugués Juan II.
En el mismo, se fijaba un meridiano de demarcación que dividía el mundo descubierto en dos hemisferios, el oriental para Portugal, y el occidental para la corona española.
Este meridiano estaba situado cien

Tratado de Tordesillas

leguas a poniente de las islas Azores, pero no se pudo fijar con claridad su antimeridiano. Habría que esperar a la conclusión del viaje de Magallanes - Elcano para poder aportar más pruebas y situar correctamente la posición de las Molucas en el globo terrestre, aunque el litigio por las Islas de las Especias no se resolvería definitivamente hasta el Tratado de Zaragoza en 1529, por el que estas islas quedaron bajo control de Portugal.
La otra potencia marítima de la Península Ibérica era el reino de Castilla, unido al reino de Aragón mediante el matrimonio en 1469 de Isabel I (1474 - 1504), hija del rey castellano Juan II (1419 - 1454) con el heredero a la corona de Aragón, Fernando II (1479 - 1516), conocidos posteriormente como los Reyes Católicos.
Ella había sido proclamada en Segovia reina de Castilla, frente a los partidarios de su contrincante Juana la Beltraneja, que estaba apoyada por el rey portugués. Esta guerra civil finaliza con el tratado de Alcac,ovas, por el que se reconoce a los Reyes Católicos en el trono de Castilla y a Portugal los territorios atlánticos, menos las islas Canarias.
Por otra parte el rey Fernando, para algunos la auténtica personificación del Príncipe de Maquiavelo si miramos a su actividad diplomática, sigue moviendo los hilos de la política mediterránea y gestionando sus territorios de Cerdeña, Sicilia y Nápoles y, cuando muere la reina Isabel en 1504, también ejerciendo como gobernador de Castilla, pero no como rey, a pesar de la inhabilitación de la reina Juana " la Loca ", ampliando después su control político al reino de Navarra en 1512 una vez que se produce su anexión a Castilla.
Cuando muere en 1515, y a la espera de la llegada del rey Carlos en 1516, la regencia de Castilla es llevada por el Cardenal Cisneros, antiguo confesor de la reina Isabel.
Aparte de la política matrimonial de los Reyes Católicos como forma de integrar territorios, hay que decir que la gran expansión castellana se produce gracias a dos hechos que sucedieron en el mismo año de 1492; uno finalizaba con la toma del reino nazarita de Granada el 2 de enero el proceso de Reconquista frente a la invasión musulmana del año 711, la cual había acabado con el reino visigodo de Toledo e implantó el islam en casi toda la Península, el otro sucedió el 12 de octubre y supuso el descubrimiento de un nuevo Mundo y la posterior forja de un imperio para Castilla.
Los cuatro viajes realizados entre los años 1492 y 1504 por el Almirante Cristóbal Colón, junto con el resto de viajes menores llevados a cabo por los Ojeda, Alonso Yáñez Pinzón, Juan de Solís y Diego de Nicuesa, que exploraron a comienzos del siglo XVI las costas de Suramérica hasta el río de la Plata y las centroamericanas atlánticas del golfo de Méjico, dejando constancia de que se trataba de nuevos territorios, nunca antes descubiertos, y que no eran las costas de Catay ni de Cipango como siempre creyó Colón que eran, hasta el mismo momento de su muerte en 1506.
Los grandes trabajos cartográficos de Juan de la Cosa y las cartas de Américo Vespucio, enviadas a Lorenzo de Médicis, no dejaban lugar a la duda de que se estaba ante un nuevo Mundo, que fue llamado posteriormente América en honor de este último.
No es hasta la subida al trono de Carlos I, que llega a España en 1517 desde la corte borgoñona de Flandes, soportando sobre sus espaldas el enorme legado territorial que le habían dejado sus abuelos, y también sufriendo la desconfianza de sus súbditos castellanos, que no le conocen ni le entienden y que se levantan en armas contra él; cuando se aborda la expansión continental en América, así como la búsqueda de un paso marítimo con las islas del Maluco, un paso que permita la comunicación entre estos dos territorios tan distantes entre sí; sobre todo una vez que se ha descubierto la existencia del otro mar, el Mar del Sur, como evidenció el descubrimiento de Balboa en 1513. Por entonces ya se vislumbraba la enorme riqueza que albergan estas nuevas tierras descubiertas.
En pocos años queda configurado el imperio español en América, pues los acontecimientos se suceden rápida y contundentemente cuando, primero Cortés y Magallanes acometan al mismo

tiempo sus respectivas empresas en 1519, después Pánfilo de Narváez llegue a la Florida en 1528 y, finalmente Francisco Pizarro conquiste el imperio inca en 1535.

Los conocimientos náuticos de la época

Hoy resulta fácil navegar por todos los mares y océanos, dados los conocimientos náuticos que se tienen y los avances técnicos con los que contamos para poder orientarnos, ya sea tanto por el día como por la noche, con el cielo cubierto o despejado; ya que siempre tendré la forma de dar la posición exacta donde me encuentro, minimizando de esta manera el riesgo y el temor que puedo sentir al saberme perdido en la mar.

Esas no eran las condiciones con las que se embarcaban los marinos europeos de los siglos XV y XVI, sobre todo desde que las rutas se abrieron al desconocido y temido océano, sobre el que circulaban tantas fantasías y leyendas.

Los marinos portugueses y españoles de ese tiempo bebían en los conocimientos transmitidos por los árabes a los reinos cristianos durante la Edad Media. Ya en el siglo XIII el rey Alfonso X el Sabio aborda cuestiones sobre la altura de los astros y aporta tablas de declinación del Sol, mientras que al mallorquín Raimundo Lulio se le atribuyen las primeras representaciones de la rosa de los vientos y del nocturlabio, ayudando con ello a los navegantes en su orientación en el mar, pudiendo entonces relacionar los rumbos con las direcciones de los vientos y posibilitando una técnica observacional para la medida del tiempo, ayudándose de los movimientos circulares de las estrellas en las constelaciones circumpolares, principalmente de la Osa Mayor y Casiopea.

Ambos también mencionan en sus escritos la existencia de una aguja imantada o " calamita ", que señalaba el norte y ayudaba en los rumbos a seguir, estando generalizado su uso en el Mediterráneo ya desde el siglo XIV. La calamita era una pequeña aguja de hierro imantada por frotamiento con una piedra imán, que se introducía en un pequeño tallo de paja, plumón de ave o trocito de madera, haciéndola flotar en un recipiente de agua, permitiendo de esta manera que se orientara en la dirección norte-sur magnético, aunque en esa época se pensaba que era atraída por la estrella Polar.

Posteriormente mejoró sus prestaciones cuando se la hizo girar sobre una pequeña pinza vertical fijada a una rosa de los vientos, primero con solo ocho vientos, después con dieciséis y, finalmente con treinta y dos rumbos o cuartas, correspondiendo cada cuarta a un ángulo de 11º,25, haciendo que el error en la medida, por parte de un timonel experto, no fuera mayor de media cuarta o de unos 5º.

El norte era simbolizado por la " flor de lis " y se sabía que no señalaba el norte con exactitud, que existía una pequeña desviación, hacia oriente en el Mediterráneo, con respecto a la estrella Polar cuando ésta culminaba superior o inferiormente sobre el meridiano local.

Para fijar este momento de la noche observaban en el cielo las posiciones de las " Guardas " , las estrellas α y γ de la Osa Menor. Entonces la aguja " noresteaba " o " noroesteaba ", según que la flor de lis se orientara al este o al oeste de la Polar.

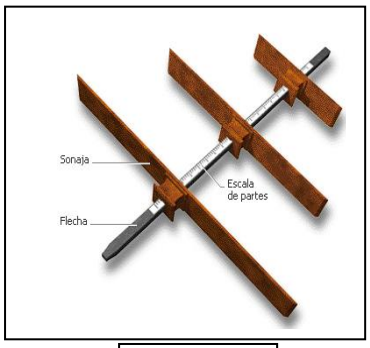
La aguja sufría en el Mediterráneo una desviación hacia el noreste de entre 9º y 11º, no sobrepasando la cuarta, por lo que los pilotos debían corregir el rumbo en función de ella, achacándolo a una imperfección de la brújula. Esto explica por qué entonces en las representaciones cartográficas de este mar se representaba un poco inclinado hacia el este.

Sintetizando lo dicho hasta ahora, se puede decir que para encontrar el rumbo norte geográfi-

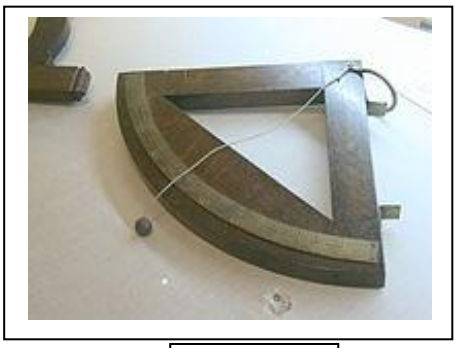
co verdadero se servían a la vez de la brújula y de la estrella Polar, pero ambos métodos no eran precisos. El primero a causa de la declinación magnética y el segundo porque en el siglo XVI la Polar era una estrella circumpolar, que describía una trayectoria circular alrededor del polo celeste de unos 3º,5 de radio.
A pesar de estas limitaciones, la navegación mediterránea era bastante segura pues se apoyaba también en el uso de derroteros y de cartas arrumbadas que les ayudaban en su práctica marinera diaria.
Si del " Mare Nostrum " se conocía casi todo, esto no sucedía cuando se navegaba por el océano, el Atlántico en un principio, después vinieron las factorías portuguesas en el Indico y por último, a partir de Magallanes, también el Pacífico.
Se hacía necesario conocer la latitud en la que te encontrabas y para ello se usaban distintos métodos para calcularla. Uno era medir la altura de la Polar o las de otras estrellas de las que se conocían sus alturas en función de la latitud, resultando para ello fundamental la utilización del astrolabio y por último la altura de la " estrella " por excelencia, el Sol, en su culminación meridiana superior.
Si se optaba por la Polar, entonces había que observar también las " Guardas ". Para ello contaban con una figura ideal, fruto del saber marinero acumulado durante siglos de observación de los cielos, la cual era conocida con el nombre de " El hombre del Polo ". Representaba a un hombre mirando hacia el observador (Colón lo orientaba mirando hacia el norte, de espaldas), en el que el Polo Norte ocupaba el centro del cuerpo, el meridiano norte sobre la cabeza y el sur en los pies, los brazos extendidos en cruz orientados a poniente y oriente y entre estos puntos se disponían las bisectrices, correspondiendo las superiores a los hombros. La estrella Polar ocupaba el círculo central pequeño, mientras que Kochab (β) y el resto de ellas daban vueltas rodeándola.
Observada la Polar respecto a las posiciones de las Guardas en el momento oportuno, nos marcaba su altura y por ende la latitud del lugar.

Hombre del polo

Como era difícil medir esta altura en la oscuridad de la noche, había que complementarlo con los otros métodos y medir con el astrolabio la altura del Sol en el meridiano al mediodía y consultar las tablas de declinación solar para ese día que todos los pilotos solían llevar, como las del inglés Juan de Sacrobosco en su obra " Sphaera Mundi ", editadas en 1472, o las del judío salmantino Abraham Zacuto en el " Almanach Perpetuum " de 1485.
Los instrumentos de los que servían además del astrolabio eran el cuadrante y la ballestilla, utilizados todos por los portugueses ya en la segunda mitad del siglo XV



Ballestilla


Cuadrante

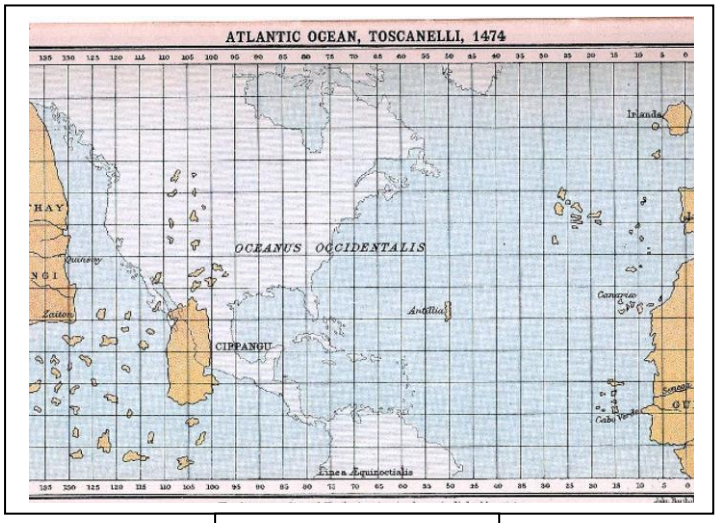
Astrolabio

En el " Repertorio dos tempos " del portugués Valentín Fernandes, de 1518, se cuenta cómo se navegaba en latitud:
" ..al salir de Lisboa se observaba con el cuadrante la altura de la Polar, estando las Guardas en una posición determinada. La medida se marcaba en el limbo graduado del cuadrante. Durante la derrota se volvía a observar la Polar cuando las Guardas estaban en la misma posición y, de nuevo, se marcaba la altura en el cuadrante; se restaban los grados obtenidos en las dos mediciones y se multiplicaba su medida en grados por 16 ⅔ leguas / grado, para saber la distancia norte-sur recorrida ".
Cuando la Polar estaba oculta en el momento adecuado de la observación y se hacía imposible su medida, los portugueses crearon el " Regulamento do Norte " o Regimiento del Polo, donde en una tabla se daba al navegante las alturas del Polo, sus valores en función de las diferentes posiciones de las Guardas.
A diferencia del Hemisferio Norte en el que la estrella Polar servía de referencia a los marinos, en el Hemisferio Sur no existía ninguna estrella en las proximidades de Polo Sur Celeste y para intentar localizarlo los pilotos se guiaban por una constelación muy visible, la Cruz del Sur , en la que prolongando una cantidad dada de veces la longitud de su brazo mayor, el que une sus estrellas α y γ, llegaríamos hasta Polo. Esta constelación es nombrada por primera vez en el año 1455 como " el carro meridional " , al arribar el portugués Alvise Cadamosto al archipiélago de Cabo Verde.
Si para determinar la latitud se conocían distintos métodos, como hemos visto anteriormente, con respecto a la longitud geográfica de la embarcación la situación era diferente.
Los pilotos se referían a ella como " la altura del lesteoeste ", que unida a la latitud marcaría el grado o posición de la nave. Era difícil de medir por la imprecisión de los instrumentos que se utilizaban, por lo que su medida se hacía por estimación. La intuición y práctica marinera de cada uno daba lugar a distintas mediciones, como sucedió el 19 de septiembre de 1492, durante el primer viaje de Colón, ya que para el piloto de la Niña se encontraban a 440 leguas de las Canarias, para el de la Pinta a 420 y para el Almirante, en la nao Santa María, a 400 leguas justas. Esta disparidad en la medida era consecuencia de haber usado para medir el tiempo la " ampolleta ", un reloj de arena que medía el tiempo y la " corredera " , una cuerda anudada a intervalos regulares, con una tablilla final que flotaba en el agua y que era lanzada por la popa, para que al irse desenrollando indicara el espacio recorrido en función del tiempo transcurrido, y de esta forma hacer una estimación de la velocidad de la nave. Como puede suponerse, esta medida resultaba falseada por la existencia de las corrientes marinas que había en cada punto, y más teniendo en cuenta que se navegaba por mares desconocidos.

Ampolleta y corredera

Además había otro problema añadido, como era la diferente relación que existía entonces entre el número de millas, y por consiguiente de leguas, que se asignaba a cada grado de la equinoccial (el Ecuador).
A principios del siglo XVI, en la Península Ibérica había dos ratios respecto a las leguas que correspondían a cada grado. Los portugueses asignaban 17,5 leguas / grado, mientras que los españoles daban 16 y ⅔ / grado. Esta falta de uniformidad en la medida implicaba indirectamente un mundo más grande o más pequeño según cual se eligiera. El tamaño ya estaba establecido casi correctamente desde hacía mucho tiempo, si nos fijamos en las medidas reali-

zadas por Eratóstenes (S. III a.C.) de unos 40.000 km de circunferencia máxima, increíblemente exacta para su tiempo y las hechas por Posidonio (S. I a.C.) que la cuantificó en una cifra algo menor de km.
Esta medida de Posidonio pasó después a Ptolomeo (S. II d.C.), quien aportó en su obra de " Geografía " un mapamundi con los territorios conocidos hasta entonces, representado mediante paralelos y meridianos, y fijando el origen de longitudes en el meridiano correspondiente a la isla del Hierro (Canarias).
Las ideas de Ptolomeo, tanto geográficas como astronómicas, pasaron como un legado del clasicismo al mundo del Renacimiento, convirtiéndose en el paradigma conceptual aceptado hasta entonces, por el cual se centraba la visión del cosmos en nuestra Tierra mientras el resto de esferas giraban alrededor de ella.
Este legado ptolemaico lo recogió el astrónomo, matemático y cartógrafo Paolo Toscanelli, a finales del siglo XV, el cual elaboró para el rey portugués Alfonso V un mapa del mundo, en el que se mostraba lo accesible que resultaba llegar hasta la India, Cipango y Catay, navegando siempre hacia poniente por el Atlántico. En este camino se interponían algunas islas míticas, como eran las de Antillia y San Borondón.



Mapa de Toscanelli

Muchos historiadores piensan que este mapa llegó a manos de Colón y que lo llevaba secretamente durante su primer viaje, teniéndolo que mostrar, ya al final del mismo a los hermanos Pinzón y a la tripulación para calmar su ansiedad y temor a estar perdidos en el océano, dando al Almirante un plazo de tres días para encontrar tierra o si no, regresar a España. Era el 10 de octubre y al anochecer del día siguiente se vieron las primeras luces o candelas en el horizonte y pasadas dos horas de la medianoche un marinero de la Pinta, llamado Rodrigo de Triana, dio la señal de tierra.
Según nos cuenta Hernando Colón en su obra " Historia del Almirante " , Colón estaba de acuerdo con las dimensiones del mundo dadas por el cosmógrafo árabe Alfragano (S. IX) el cual decía que a un grado de latitud correspondía 56 y ⅔ de millas y por tanto el total de la circunferencia terrestre era de 20.397 millas, haciendo una estimación bastante real de su medida, mientras que Colón lo reducía en una cuarta parte. La explicación la encontramos en que la milla de Alfragano era la árabe de 1.973 m. y la de Colón la italiana de 1.480 m.
Analizando las medidas del mundo que manejaban los marinos a comienzos del siglo XVI, observamos que la menor cantidad de leguas asignadas a cada grado era la de Colón con 14 y ⅔, Martín Fernández de Enciso, Américo Vespucio, Fernando de Magallanes y Rui Falero la fijaban en 16 y ⅔; el resto de pilotos durante ese siglo, incluyendo al cartógrafo Juan de la Cosa que acompañó a Colón en su primer viaje, fijaban en 17,5 las leguas por grado, teniendo cada una 5.926 m, la correspondiente a la legua marítima portuguesa.
Esta confusión del valor de la legua se reflejaba en los resultados de los métodos experimentales utilizados para el cálculo de la longitud geográfica, de vital importancia para fijar las dimensiones reales de los territorios que componían los nuevos imperios que se estaban formando, hasta el punto de convocarse concursos internacionales para encontrar una solución al problema, como el puesto en marcha por Felipe II en 1567.
El método que más avanzó y que más esfuerzos requirió fue el cálculo basado en los eclipses

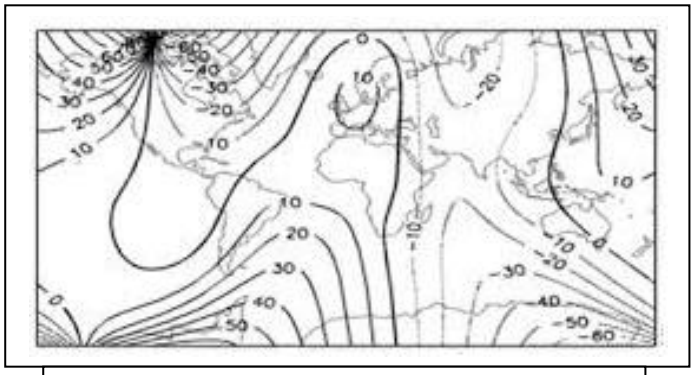
de luna. Se anotaba el momento temporal preciso del comienzo de una fase concreta del eclipse (el máximo o su comienzo o final, por ejemplo), registrándolo en la hora local de dos puntos del globo distantes entre sí. La diferencia entre las dos horas locales anotadas, multiplicada por el factor de conversión de 15º / hora, daría la diferencia teórica en longitud entre esos dos puntos terrestres.

Colón utilizó dos veces este método para intentar hallar la longitud a la que se encontraba respecto a la ciudad de Cádiz. La primera vez el 15 de septiembre de 1494 cuando se hallaba en la isla de la Española (República Dominicana) durante su segundo viaje, y la otra el 29 de febrero de 1504 en la isla de Jamaica, durante su último viaje. En las dos ocasiones los cálculos resultaron ser erróneos, a pesar de que se basaban en las Tablas de Efemérides planetarias que circulaban en la época, como eran las de Johann Müller Regiomontano, publicadas en 1474, en las que se reflejaban cuando se producían las conjunciones planetarias. Estas tablas fueron utilizadas también por Vespucio para hallar la longitud, cuando el 23 de agosto de 1499 se encontraba en las costas de Venezuela.

A pesar del empeño puesto en la resolución del problema, éste no se resolvió porque los relojes de arena eran imprecisos y los mecánicos de péndulo no servían por el balanceo de la nave, mientras que los de muelle no ofrecían seguridad. La cuestión no se solucionó definitivamente hasta la segunda mitad del siglo XVIII, cuando Berthoud y Harrison desarrollaron el cronómetro moderno de precisión

Esta exposición sobre el contexto técnico y astronómico de la navegación a principios del XVI quedaría incompleto si no presentara a estudio un nuevo fenómeno natural aparecido, no conocido suficientemente hasta entonces, que ya había sido observado por Colón desde su primer viaje y que resultaba incomprensible para el razonamiento de la época. Me estoy refiriendo a la desviación magnética variable de la aguja imantada, que se fue registrando en los cuadernos de bitácora de los viajes a medida que se exploraban mares y océanos nunca anteriormente visitados.

Colón recoge en su Diario como los días 13 y 17 de septiembre de 1492, las agujas de marear se comportaban diferente por la tarde respecto a como lo hacían por la mañana, desconcertando a los pilotos, habiéndose amplificado la desviación mostrada este último día. Aunque ellos no eran conscientes, la realidad era que en esos días estaban atravesando, y posteriormente rebasando, una línea " agónica ", es decir una línea de fuerza del campo magnético de desviación 0º.



Declinación magnética a finales del S. XVI

Colón a la vuelta de su primer viaje fijó esta línea de cambio unas cien leguas a poniente de las Azores. El hecho llegó a ser tan relevante para él, que lo convirtió en una referencia meridiana en longitud (hasta entonces el meridiano 0º se fijaba en la isla del Hierro), convirtiéndose en todo un hito en el viaje a las Indias, pues la agujas pasaban de una desviación este a hacerlo al oeste.

El fenómeno fue paulatinamente haciéndose más incomprensible a lo largo del siglo, porque los desvíos no seguían ningún patrón o pauta racional. El mismo Almirante, en las costas de Venezuela, durante su tercer viaje, midió una desviación de más de una cuarta y media y algunas veces de medio viento (22,º5). Juan de la Cosa daba un valor medio en las Antillas de 11º y Pedro Reinel, en 1504 en las costas de Terranova también de 22º,5.

Las anotaciones registradas durante el viaje de Magallanes sirvieron para realizar las primeras correcciones en las cartas náuticas, en función de las distintas declinaciones magnéticas,

reflejándose estas correcciones después en las cartas elaboradas para la Casa de Contratación de Sevilla por Castiglioni y Salviatti en 1525, orientándolas ahora ya hacia el norte geográfico en vez de al magnético.
En el siglo XVII se comprobó como la declinación magnética variaba con el tiempo y también sobre un mismo meridiano, llegando incluso a ser alterada por los componentes férricos de los propios barcos o por los materiales rocosos de la costa.

La vuelta al mundo de Magallanes y Elcano

Es el momento de abordar el viaje en sí, con los hechos que sucedieron en el mismo, con los narradores que lo vivieron y pudieron después contarlo, para poder hacerse una idea de las repercusiones políticas, económicas y geográficas que tuvo en su época la epopeya y que aún hoy en día tiene, sobre todo cuando se cumple el V centenario de la expedición y si nos fijamos en las celebraciones que se tienen pensado hacer.
Veo necesario realizar una breve recensión biográfica de sus protagonistas para así valorar el peso que tuvo en la empresa el tesón, el valor, la abnegación y el sacrificio que demostraron, de los valores cristianos que portaban y también de la lealtad a la Corona, que era quien financiaba el proyecto.

Fernando de Magallanes (Oporto, 1480 - Mactán, 1521)

Era hijo de Fernando Rui de Magallanes, que sirvió a la corona portuguesa desempeñando diversos cargos. Siguiendo a su padre, cuando fue niño entró como paje de la reina Leonor, consorte del rey Juan II.

Fernando Magallanes

Casó con Beatriz Barbosa, pariente suyo, y tuvo dos hijos, Carlos que murió al nacer y Rodrigo que lo hizo en 1522, al mismo tiempo que desapareció su mujer. En 1505 se alistó en la Armada de la India, formada por veintidós navíos que acompañaban al primer virrey Francisco de Almeida. Allí participó en numerosas acciones militares durante los ochos años que permaneció en la India, ya con Francisco de Albuquerque como virrey y posiblemente acompañado por su primo Francisco Serrano, que llegó a ser general al servicio del rey de Ternate, en las Molucas, según cuenta Pigafetta. Las cartas que le envió a Magallanes describiendo las islas de las Especias en detalle, fueron vitales para la elaboración del proyecto de circunnavegación que presentó a Carlos I.
Después de sus servicios en la India regresó a Portugal, participando en algunas acciones militares en Marruecos, al tiempo que junto al piloto Rui Falero estudiaba las cartas náuticas elaboradas recientemente, intentando buscar un paso desde el Atlántico al Mar del Sur (Pacífico) y de paso fijar si las Molucas caían dentro del hemisferio portugués o del castellano, según se había fijado en el Tratado de Tordesillas.
En 1517 se traslada junto con Falero a Sevilla, poniéndose en contacto con la Casa de Contratación y posteriormente a través del obispo Fonseca con el rey, quien los nombra caballeros de la Orden de Santiago y Almirantes de la armada que partiera hacia poniente con la intención de abrir una nueva ruta, apartada de la portuguesa , hacia las Molucas. Las capitulaciones formales fueron firmadas en Valladolid en el año 1518.
Si en principio iban a ser dos los lideres colegiados de la expedición, las malas relaciones con Falero y la mala salud de éste, le dejaron a Magallanes como único capitán general de la armada, al abandonar la empresa el famoso piloto portugués.
El viaje, del que más adelante se hablará, se desarrolló bajo su único mando hasta su muerte el 27 de abril de 1521 en la isla filipina de Mactán.

Quienes le conocieron lo describían como un hombre de gran fe, austero en sus costumbres y algo soberbio y engreído, aunque Pigafetta deja claro en su libro su cariño, refiriéndose a él como " nuestro espejo, nuestra luz, nuestro reconforto y nuestro guía inimitable ", al describir la escena de su muerte en la playa de Mactán.

Juan Sebastian Elcano (Guetaria, 1476 - Océano Pacífico, 1526)

Hijo de pescadores y marinos acomodados, fue el primogénito de nueve hermanos. Desde muy pequeño vivió el ambiente marinero y era conocedor de los secretos y peligros de la mar.

Juan Sebastián Elcano

Participó en acciones militares de la época, como pudo ser la expedición a Argel en 1509 al mando de su propia nao y como maestre de la misma, embarcación que tuvo que vender después para poder pagar las deudas contraídas.

Todas estas vicisitudes y la búsqueda de fama y fortuna le llevó a Sevilla en 1518, en un momento en que esta ciudad era un auténtico hervidero comercial, cultural y científico, en la que florecían todas las artes, especialmente los estudios náuticos y la cartografía. Era la puerta de entrada y salida para el comercio con las Indias.

Es entonces cuando se enroló en la empresa de Magallanes que se estaba organizando, con el cargo de maestre y adscrito a la nao Concepción que capitaneaba Gaspar de Quesada.

Tras la muerte de Magallanes asumió el mando de la nao Victoria, la única de todas las que iniciaron el viaje que después de grandes esfuerzos, logró completar la circunnavegación al mundo en su totalidad, en el momento que arribó a Sanlúcar de Barrameda en el 1522.

Su vida acabó como no podía ser de otra manera en el mar, durante la expedición de Jofre de Loaisa en 1525, organizada con el objetivo de colonizar las Molucas. La causa de su muerte no está clara, pues pudo ser debida al escorbuto o por una intoxicación alimentaria después de comer pescado contaminado con una bacteria, si tenemos en cuenta que fueron varios los que murieron con posterioridad después de haberlo comido.

El viaje.

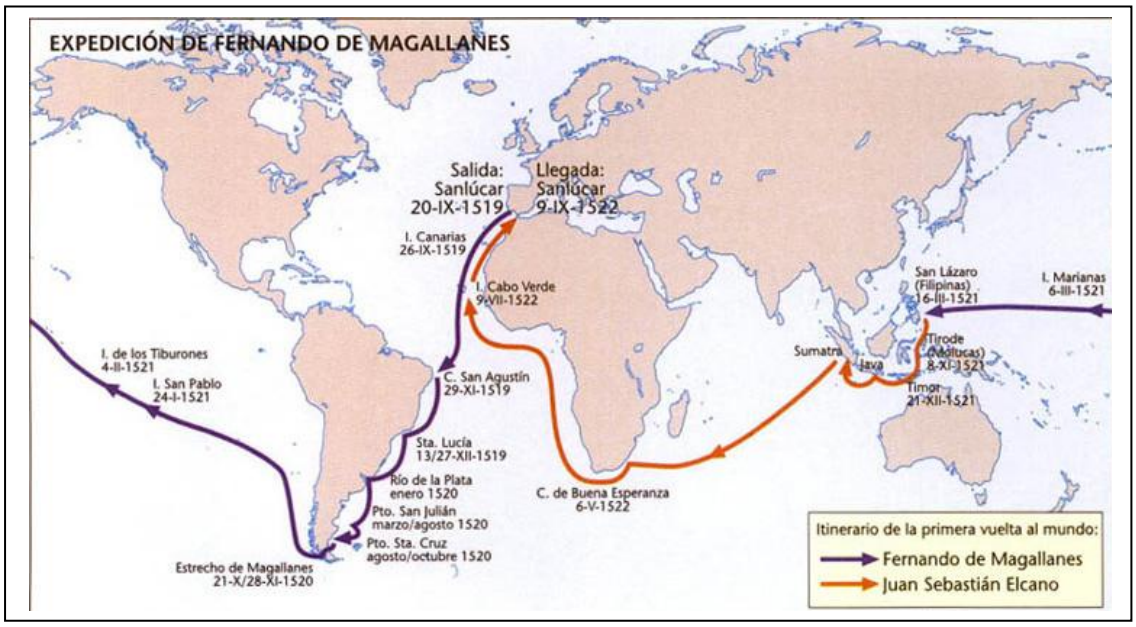
Réplica de la nao Victoria

Firmadas las capitulaciones y ya con el informe positivo del Consejo de Indias, se acuerda armar y dotar de material a cinco naos, las cuales el 10 de agosto, día de San Lorenzo, salen de Sevilla con una tripulación de 237 marineros, bajan el río Guadalquivir y llegan a Sanlúcar de Barrameda, ya en aguas del océano.

A los pocos días llegan Magallanes y el resto de capitanes de las naos. Después de abastecerse de todo lo necesario, el martes 20 de septiembre de 1519 parten hacia Canarias, llegando el 26 de dicho mes a Gran Canaria.

Permanecen en ella hasta el 3 de octubre y después de cargar toda la carne, leña y agua necesarias para la larga travesía a realizar largan velas, siendo ahora 265 la tripulación total, y ponen rumbo hacia el sur, hacia Cabo Verde y la costa de Guinea.

Allí sufren un periodo de lluvias, de calmas y vientos contrarios, en contra de la opinión que tenían de la región los antiguos, como nos cuenta Pigafetta.
Entonces cambian el rumbo y se dirigen hacia Brasil, atravesando la línea equinoccial, el Ecuador, y por consiguiente perdiendo ya la referencia de la estrella Polar.
Sólo cuando se tiene la certeza de haber atravesado la línea de demarcación entre Portugal y Castilla desembarcan en Brasil, a la altura del cabo de San Agustín, y desde entonces la derrota seguida en el viaje es registrada por el piloto Francisco Albo.
Entre las descripciones que nuestro cronista Pigafetta nos hace en el viaje sobre las poblaciones que se encuentran y las costumbres que tienen, destaca por su peculiaridad la práctica del canibalismo que había en la zona hasta que se llegaba al estuario del Mar del Plata, como bien lo sufrió Juan de Solís y sus compañeros cuando perdieron la vida en esta zona, al llegar allí en 1515.
La extensión y la orientación de este entrante del océano hacia el oeste les hizo pensar, en un primer momento, que habían encontrado el deseado estrecho que comunicaba con el Mar del Sur, pero la naturaleza dulce de sus aguas demostró que no lo era.



A continuación, el 2 de febrero, ponen rumbo sur-suroeste hasta llegar a la Bahía de San Julián, en la que ocurren importantes acontecimientos que cambiarían la composición de la expedición.
Sucede en ella lo que hacía mucho tiempo flotaba en el ambiente ya desde el arresto de Juan de Cartagena en Cabo Verde, y se produce una rebelión de los capitanes Gaspar de Quesada, Luis de Mendoza y el mismo Juan de Cartagena, veedor real y sobrino del arzobispo Fonseca.
La rebelión es muy bien contada por el piloto Ginés de Mafra en su " Relación del descubrimiento del Estrecho de Magallanes " y termina con el ajusticiamiento de los dos primeros, mientras que Cartagena junto con un fraile son abandonados a su suerte en esta tierra cuando zarpan de allí el 24 de agosto.
Es durante estos seis meses de invernada en la Bahía de San Julián cuando tienen los primeros contactos con los nativos de esta tierra, los patagones, cuya descripción y costumbres, con su consabida exageración y admiración, nos narra Pigafetta.
Sofocada la revuelta, Magallanes manda a Juan Serrano, el capitán de la nao Santiago, costear a modo de avanzada hacia el sur, llegando a una nueva bahía, en la que desemboca un río que llamaron de Santa Cruz. Al regresar al encuentro del resto de la armada, la Santiago queda

varada a consecuencia de las mareas tan altas de la zona y naufragó entre los escollos de la costa.
Juan Serrano informa del desastre a Magallanes por vía terrestre, el cual auxilia a la tripulación con provisiones hasta que todos se reúnen de nuevo.
Aquí la expedición vive un nuevo parón de dos meses de duración para aprovisionarse y terminar de pasar el invierno austral. Parten de allí el 18 de octubre con rumbo suroeste hasta llegar el 21 del mismo mes al Cabo de las Once Mil Vírgenes, punto de entrada al estrecho que después llevaría el nombre de Magallanes.
El tránsito de todo el estrecho les lleva aproximadamente un mes y durante el mismo se produce la deserción de la nao San Antonio, la más grande y aprovisionada de todas. Esta nao, al mando de su piloto Esteban Gómez, el cual había depuesto a su capitán Alvaro Mezquita, vuelve sobre sus pasos con la intención de regresar a España, a la que llegan el 6 de mayo de 1521. En su viaje de vuelta se cree que descubrieron las islas Malvinas.

Estrecho de Magallanes

El miércoles 28 de noviembre, según cuenta nuestro cronista Pigafetta " se desencajaron de este estrecho, sumiéndose en el Pacífico ".
Se halla este paso a una latitud de 52º sur y tiene una longitud de unas cien leguas.
A partir de aquí, la travesía del Pacífico, que les llevó tres meses, supone uno de los episodios más duros de todo el viaje ya que, como consecuencia de la deserción de la San Antonio, no probaron " ningún tipo de vianda fresca ", bebieron " agua putrefacta ", comieron " cuero de buey " y " las ratas se vendían a medio ducado " y " la peor de todas las penalidades era que les crecían a algunos las encías sobre los dientes hasta que de ningún modo les era posible comer y morían de esta enfermedad ".
Durante este tiempo recorrieron cerca de cuatro mil leguas, sin conocer ninguna borrasca, sin ver ninguna tierra excepto dos islotes deshabitados, a los que llamaron Islas Infortunadas.
El 6 de marzo de 1521 llegan a las Islas de los Ladrones, hoy isla de Guam, en el archipiélago de las Marianas, pues " los nativos robaban aquí una cosa, otra allá.." y el 16 vieron la isla de San Lázaro , en la actualidad Samar de las Filipinas, pero no desembarcaron en ella sino que siguen su periplo de isla en isla, abasteciéndose en alguna, tomando posesión para la corona en otras e interviniendo en las relaciones entre los reyes de las distintas islas hasta que llegan a Mactán, una pequeña isla junto a la de Cebú, en la que Magallanes junto a varios hombres más hallan la muerte el 27 de abril a manos de los nativos.
Estas no serían las únicas pérdidas en esos días pues el 1 de mayo, en una emboscada del rey de Cebú, perecen veintiséis hombres más, entre ellos el piloto y capitán de la nao Concepción.
Ante tantas bajas humanas y no teniendo tripulación suficiente ya para navegar con las tres naos deciden incendiar la Concepción, quedando solamente la Trinidad y la Victoria, manejadas sólo por 107 marineros.
Prosiguen su navegación entre las grandes islas filipinas, hasta que el 6 de noviembre de 1521 llegan a su objetivo, las islas de las Molucas, permaneciendo en ellas más de un mes y cargando las naves de especias, especialmente de clavo.
Cuando deciden proseguir su viaje observan que la Trinidad, que era la que más carga llevaba, hace aguas por una vías que se habían abierto en su casco, por lo que descargada la mercancía tuvo que quedarse en puerto para ser reparada, mientras la nao Victoria, al mando de Juan Sebastián Elcano, emprende su viaje de regreso a España acompañados por dos pilotos contratados en las Molucas, que les ayudan a sortear las numerosas islas que hoy forman Indonesia.

Pasando por la isla de Timor se adentran el 11 de febrero de 1522, en el océano Indico, evitando en todo momento navegar por aguas frecuentadas por los portugueses para no ser apresados.
La travesía por el Indico les lleva casi tres meses. Durante la misma tuvieron que hacer frente a condiciones muy adversas en la navegación, luchando contra corrientes y vientos contrarios, bajando a latitudes más frías de 40º, sin hacer escalas, pues solo vieron una isla (Ámsterdam), pero no pudieron fondear en ella por ser rocosa y acantilada.
Cuando creen haber doblado el Cabo de Buena Esperanza el 4 de mayo, ponen rumbo noroeste para de esta manera navegar ya por el Atlántico, pero sus estimaciones de las distancias recorridas no eran las correctas y avistan la costa este de Sudáfrica. Sin hacer tierra, deciden doblar el Cabo con mucha dificultad, pues las tempestades son de tal intensidad que rompen el palo del trinquete y la verga, hasta que lo consiguen el día 19 y se adentran ahora sí en el Atlántico.
Esta nueva singladura oceánica es muy mortífera para la tripulación, por la falta de alimentos y las precarias condiciones de vida en la nao Victoria, por lo que Elcano decide acercarse a la costa de Guinea para intentar aprovisionarse, pero la existencia de manglares y bajíos en la misma lo hizo imposible por lo que, después de una votación y asumiendo los riesgos que entrañaba el ir a Cabo Verde para abastecerse, ponen rumbo hacia este archipiélago, llegando a él el 8 de julio.

Ruta seguida en el Atlántico

Allí, según narra Pigafetta, cuentan una mentira a los portugueses " con esta invención: decir a los portugueses que se les había roto el trinquete bajo la línea equinoccial , " callándonos que fue tan cerca del cabo de Buena Esperanza " y que mientras lo reparaban, su capitán general, con las otras dos naves, había regresado a España ".
El engaño no funcionó y trece hombres fueron apresados y encarcelados, por lo que tuvieron que hacerse a la mar de forma apresurada, pero esta vez ya abastecidos de los víveres que habían conseguido comprar en la isla de San Jacobo , hoy de Santiago.
En Cabo Verde se enteraron de la fecha en que estaban, el 10 de julio de 1522 para los portugueses mientras ellos creían estar a 9 de julio, explicándolo muy bien nuestro narrador:
" Pero, como después nos fue advertido, no hubo error, sino que, habiendo efectuado el viaje todo rumbo al occidente, y regresando al lugar de partida (como hace el Sol, con exactitud), nos llevaba el Sol veinticuatro horas de adelanto, como claramente se ve ".
Ponen rumbo a las Azores en vez de a Canarias como hubiera sido lo normal, con la idea de evitar los viento alisios tropicales contrarios y coger los favorables del oeste, dominantes en la franja templada y tan utilizados por las embarcaciones españolas en su vuelta de las Indias.
Finalmente, empujados por el deseo de regresar a España con la misión encomendada por el rey cumplida, colmados de riqueza y a la espera del reconocimiento y la fama de haber sido los primeros en dar la vuelta al mundo, llegaron el 6 de septiembre de 1522 al puerto de Sanlúcar de Barrameda, de donde habían salido tres años antes.
Son sólo dieciocho hombres y tres indios de las Molucas, " flacos como jamás hombres estuvieron " , que se trasladan después a Sevilla para ser agasajados en la Casa de Contratación.
Decir que la otra nave que quedó en las Molucas, la Trinidad, tuvo un final más dramático y trágico pues habiendo arreglado el casco en Tidore, intentaron volver a través del Pacífico hasta el único territorio americano conocido por los españoles en la costa de este mar, el Darién, correspondiente al actual Panamá.

Desde Tidore, en las Molucas, la Trinidad ascendió hasta los 42º de latitud norte, donde una tormenta dejó a la nao muy maltrecha por lo que deciden regresar ya muy mermados, a las islas de las Especias, en donde son apresados por los portugueses, corriendo sus distintos tripulantes suertes diferentes, pues la mayoría murieron en prisión y el resto fueron liberados con posterioridad por mediación del rey Carlos I.

La navegación astronómica de la época

Dentro del saber marinero que poseía la gente de la mar en el siglo XVI, la astronomía ocupaba junto con la náutica, la cosmografía y la cartografía un papel fundamental.
No solo había que saber leer los distintos estados del mar para poder eludir los peligros ocultos en él, como podían ser las corrientes marinas, los bajíos y arrecifes costeros o interpretar el vuelo de las aves y en todo esto la experiencia cumplía su función, sino que también tenía que conocer los movimientos de los astros en el cielo, un cielo todavía precientífico hasta que Copérnico publicara su libro " Revolutionibus orbium colestium " en 1543.
Todos los grandes marinos de la época se sirvieron de una u otra forma de las estrellas, de los planetas visibles y de la Luna, para usarlos en sus cálculos respecto a la latitud, la longitud, sobre las direcciones o rumbos a seguir y también para la medida del tiempo.
El desarrollo de los contenidos de este punto seguirá una misma pauta metodológica. Se partirá de unas citas, que tengan unas connotaciones astronómicas y estén presentes en los textos que dejaron los protagonistas de estos viajes, describiéndonos lo que veían cuando miraban el cielo, tanto nocturno como diurno; después se analizará el hecho observado a través de los cálculos matemáticos necesarios para su posterior interpretación histórica, o meramente explicativa del fenómeno observado, o sobre el método astronómico concreto utilizado para navegar en esa época.
Los autores de estos textos elegidos son : Cristóbal Colón y su " Diario de navegación ", los de su hijo Hernando Colón con la " Historia del Almirante ", Américo Vespucio y sus cartas a Lorenzo de Médicis sobre " El Nuevo Mundo, viajes y documentos " y, finalmente nuestro cronista del viaje , Antonio Pigafetta en " Primer viaje alrededor del mundo "; a los que se unirán alguna cita puntual en el " Derrotero de Francisco Albo ", el piloto de la expedición, y dell Padre José Acosta en su " Historia natural y moral de las Indias ".
El primer concepto a aclarar será el desfase temporal que existió hasta finales del siglo XVI entre el calendario juliano, en uso durante el viaje de Magallanes, y el gregoriano que surgió de la reforma del mismo en el último cuarto de este siglo.

Calendario juliano y gregoriano

Dicho desfase había llegado a ser significativo, de tal manera que la primavera astronómica no entraba el 20 o 21 de marzo como es habitual, sino que lo hacía unos nueve días antes, el 11 de marzo según el calendario civil de la época.
Este calendario civil en uso era el juliano, llamado así por haber sido Julio Cesar quien lo introdujo al final de la República romana, en el 46 a.C. En el mismo, había tres años de 365 días y un cuarto año de 366 días, de tal forma que cada cuatro años se añadía un día más al mes de febrero, convirtiéndolo en año bisiesto. Así el año tenía una media de 365,25 días o 365 días y seis horas.
Cuando se habla de año en un calendario se entiende que se refiere al año trópico, que marca el tiempo transcurrido entre dos mismas estaciones astronómicas, por ejemplo entre primavera y la primavera del año siguiente y que aunque este año varía con el tiempo, hoy se cuantifica en 365,242189 días, resultando de esta manera que el año juliano es un poco mayor que el año trópico. Esta diferencia es: 365,25 – 365,242189 = 0,007811 días = 11 minutos y 14,78 segundos.
Esto en un año es casi inapreciable, pero la diferencia se va acumulando de tal forma que en

128 años alcanza ya el valor de un día, y eso ya sí es apreciable.
Este adelanto del calendario civil sobre el astronómico hizo que las fechas de las festividades religiosas civiles se alejaran bastante de las correspondientes astronómicas. Con objeto de adecuarlas nuevamente, el Papa Gregorio XIII, durante el concilio de Trento celebrado entre 1545 y 1563 llevó esta cuestión a los sabios para su resolución. El resultado fue la introducción del calendario gregoriano, llamado así en su honor y que fue de aplicación inmediata en los países católicos ya desde el año de 1582 , e hizo que el día siguiente al 4 de octubre fuera el 15 de octubre, adelantando diez días del mes, los que aproximadamente se habían perdido en los 1257 años transcurridos entre el I Concilio de Nicea (325 d.C.) y el año de 1582.
Curiosamente hay que decir que Santa Teresa de Ávila, habiendo muerto el jueves 4 de octubre de ese año y haber sido enterrada al día siguiente, su inhumación oficial en la localidad salmantina de Alba de Tormes fue datada el viernes 15 de dicho mes.
El calendario gregoriano establece que los años cuyas dos últimas cifras sean divisibles entre cuatro son años bisiestos, incluyendo los años múltiplos de cien menos aquellos que lo son también de cuatrocientos, por ejemplo no son bisiestos los años 1600, 2000, 2400... etc.
Con este cómputo se logra que el año promedio surgido de la reforma tenga 365,2425 días, un poco más que la duración real del año trópico actual. Esta diferencia es de 0,000311 días, por lo que transcurridos 3.200 años habría que hacer el ajuste de un día.
En la práctica, a tan largo plazo el ajuste no se puede precisar con exactitud a causa de la variación, con el tiempo, tanto del día solar como del año trópico.
Resumiendo lo dicho hasta ahora, para calcular los días que hay que adelantar una fecha, dada en el calendario juliano, para expresarla en el gregoriano se hace así:
(365,25 − 365,242189) · (año juliano − 325) = número de días
Así para el 1492, año del descubrimiento de América, la corrección era de 9,115437 días.
Para el viaje de Magallanes, tomando como año el 1520, sería de 9,334145 días.
En ambos casos se redondeará a nueve los días de desfase, no alterando esta fracción de día los resultados obtenidos que tengan que ver con el movimiento diario del Sol y poco el de la Luna y los planetas
.
Día juliano (DJ)
Existe una forma de pasar una fecha de un calendario a otro, en el que el tiempo correspondiente a los días y a las fracciones de día se expresan mediante un número decimal, sin que haya saltos o discontinuidades en la medida. Esta escala de tiempo tiene su comienzo el mediodía del 1 de enero del año 4713 a.C. (− 4712 astronómico). Por acuerdo, el día juliano (JD) comienza siempre en el momento del mediodía solar medio en Greenwich, a las 12 horas de Tiempo Universal (TU).
Como ejemplo de aplicación se va a hallar el día juliano correspondiente a las 21 horas, 10 minutos y 34 segundos del día 17 de septiembre de 1492. Este era el momento en el que comenzó el crepúsculo náutico ese día, cuando Colón se hallaba en medio del Atlántico durante su primer viaje, en un punto geográfico de coordenadas: latitud (φ) = 28º norte y longitud (λ) = 35º oeste.
Este dato de DJ será necesario después para el desarrollo numérico de una interpretación astronómica, respecto de una anotación que realizó ese día Colón en su Diario, justificando razonadamente además el tiempo y las coordenadas geográficas dadas anteriormente.
Este método de cálculo del Día Juliano está sacado del libro de Jean Meeus, " Astronomical algorithms ".
- Datos :
Año (A) = 1.492...Mes (M) = 9 (septiembre)....Día (D) = 17 ...Hora = 21 h 10 m 34 s = 21,176111 h.

..entonces el día y su fracción de día es: Día (D) = 17 + (21,176111 / 24) = 17,8823379

- Cálculos previos :

Siglos (S) = entero (año / 100)..... (B) = 2 – S + entero (año / 4) . (B) solo se necesitará si la fecha es una dada en el calendario gregoriano (año > 1582) , si el año es anterior al 1582, entonces B = 0

Si el mes (M) es enero o febrero, es decir, M = 1 y M = 2, entonces al año se le resta una unidad y al mes se le suma doce (si la fecha es de enero o febrero se considerará entonces como si fuera el mes treceavo o catorceavo del año anterior),

- Fórmula para el día juliano (DJ)

DJ = entero [365,25 · (A + 4.716)] + entero [30,6001 · (M + 1)] + D + B – 1.524,5

En este caso..... A = 14 ..... B = 0 ..... M = 9 .... D = 17,882337 y sustituyendo.....

DJ = 2.267.472 + 306 + 17,882337 – 1.524,5 = 2.266.271,3823

De modo informativo doy algunos ejemplos de día juliano :

- 1 de enero del 2000 a las 12 h de TU (día 1,5)..... 2.451.545,0 (DJ)
- 27 de mayo de 1988 a las 0 h de TU (día 27,0)..... 2.447.308,5 (DJ)
- 31 de diciembre del 1600 a las 0 h T U (día 31,0)..... 2.305.812,5 (DJ)
- 12 de julio del – 1000 a las 12 h TU (día 12,5)..... 1.356.001,0 (DJ)
- 1 de enero del – 4712 a las 12 h TU (día 1,5)..... 0 (DJ)

- Cálculo de la latitud (φ) de un lugar

Como ya se apuntó anteriormente, dos eran los métodos que se utilizaban para conocer la latitud por la que se estaba navegando. El primero era midiendo la altura de los Polos, (Norte o Sur), sobre el horizonte norte o sur del Hemisferio terrestre correspondiente y el segundo era medir la altura meridiana del Sol y relacionarla con su declinación ese día.

1º- Altura de los Polos Celestes

Los marinos europeos estaban familiarizados con las estrellas y constelaciones del cielo boreal y las utilizaban para orientarse durante la noche y también para saber la franja de latitud en la que se movían. En el Hemisferio Norte era la estrella Polar, pero con ciertas limitaciones que se expondrán a continuación, la que cumplía esa función.

En el Hemisferio Austral no sucedía lo mismo. Primero porque era un cielo que los marinos fueron descubriendo a medida que avanzaban hacia el sur en sus viajes, al principio los portugueses y después los españoles, y segundo porque aunque los pilotos buscaron una estrella de referencia que les señalara el Polo Sur, ésta no existía como bien señala Américo Vespucio, al decir que pasó muchas noches de observación buscándola y siguiendo los movimientos de las estrellas circumpolares australes sin éxito. Lo más que acertaron a observar era una constelación, muy visible, que parecía señalar el camino del Polo celeste. Era la Cruz del Sur, citada tanto por Pigafetta como por Vespucio.

⁕ Cristóbal Colón (Primer viaje)

- Sábado, 8 de septiembre : ***" Tres oras de noche sábado comenc,ó a ventar Nordeste, y tomó su vía y camino al Güeste "*** .
- Sábado, 15 de septiembre : ***" Navegó aquel día con su noche XXIII leguas su camino al Güeste y algunas más "***.

⁕Antonio Pigafetta

- Página 53 : ***" Pasado que hubimos la línea equinoccial, hacia el mediodía, se perdió la referencia de la estrella Polar; y, así, navegose con rumbo Sur-Suroeste hasta una tierra que se llama la tierra del Verzín, en los 23 grados y medio del Polo Antártico "***.
- Página 72 : ***" En estas singladuras percibimos una cruz de cinco estrellas radiantes en dirección poniente y dispuestas con gran simetría "***.

⁕ Américo Vespucio

- Página 15, Segundo viaje (1499 - 1500) : *" **Y tanto navegamos por la zona tórrida hacia la parte del austro, que nos encontramos bajo la línea equinoccial, y teniendo un polo y el otro al final de nuestro horizonte, y la pasamos por seis grados perdiendo totalmente la estrella tramontana; que apenas se nos mostraban las estrellas de la Osa Menor, o por mejor decir, las guardias que giran alrededor del Firmamento: y deseoso de ser yo el autor que señalara la estrella del Firmamento del otro polo, para señalar cuántas de ellas tuviesen menor órbita y se hallasen más cerca del Firmamento, y no pude con tantas malas noches que pasé, y con cuantos instrumentos usé, que fueron el cuadrante y el astrolabio. No advertí estrella, que tuviese menos de diez grados de movimiento sobre su órbita, de modo que no quedé satisfecho conmigo mismo de nombrar ninguna que señalase el polo sur a causa del gran círculo que hacían alrededor del Firmamento "***.

- Página 16, Segundo viaje : *" **Porque yo observé cuatro estrellas formando como una almendra, que tenían poco movimiento, y si Dios me da vida y salud, espero volver pronto a aquel hemisferio, y no regresar sin señalar el polo "***.

- Página 108, Tercer viaje (1501 - 1502) : *" **Y tanto navegamos por ese viento, que nos encontramos tan altos que el polo del mediodía se elevaba fuera de nuestro horizonte cincuenta y dos grados y no veíamos las estrellas de la Osa Menor ni de la Mayor "***.

⁕ Hernando Colón

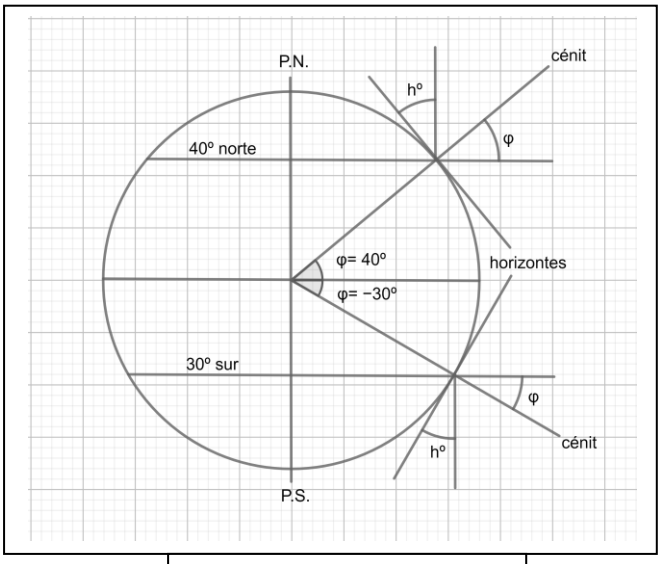
- Capítulo XVIII, página 99 (Primer viaje de Colón) : *" **Pero habiendo corrido después otras cincuenta leguas al Poniente, el 13 de Septiembre, halló que a las primeras horas de la noche, noroesteaban las calamitas de las brújulas por media cuarta, y al alba, noroesteaban poco más de otra media, de lo que conoció que la aguja no iba derecha a la estrella que llaman del Norteo, o Polar, sino a otro punto fijo e invisible "***.

- Capítulo LXIV, página 232 (Segundo viaje de Colón) : *"**Éste, (el Almirante), luego que se proveyó de agua, de pan y de leña, el miércoles, a 20 de Abril, dio las velas al viento y salió de la isla de Guadalupe. Con vientos escasos y mucha calma siguió su viaje por el grado veintidós, unas veces más y otras menos apartado, según que lo exigía el viento, pues entonces no se tenía la experiencia que hoy de meterse bien hacia el Norte, para encontrar el viento vendaval "***.

⁕ Padre José Acosta

- Capítulo V, página 70 : *" **Bien es verdad que el Crucero de acá es hermoso y de vista admirable. Crucero llamamos cuatro estrellas notables que hacen entre sí forma de cruz, puestas en mucha igualdad y proporción. Creen los ignorantes que este Crucero es el polo del Sur, porque ven a los marineros tomar altura por el Crucero de acá, como allá suelen por el Norte, más engáñanse. Y la razón porque lo hacen así los marineros es porque no hay de esta banda estrella fija que muestre al polo al modo que allá la Estrella del Norte lo hace, y así toman el altura por la estrella que es el pie del Crucero, la cual estrella dista del verdadero y fijo polo, treinta grados como la Estrella del Norte allá dista tres y algo más; y así es más difícil de tomar acá el altura porque la dicha estrella del pie del Crucero ha de estar derecha, lo cual es solamente a un tiempo de la noche, que en diversas partes del año es a diferentes horas, y en mucho tiempo del año en toda la noche no llega a encumbrar, que es cosa disgustosa para tomar el altura. Y así los más diestros pilotos no se curan del Crucero, sino por el astrolabio toman el sol y ven en él el altura en que se hallan. En lo cual se aventajan comúnmente los portugueses, como gente que tienen más curso de navegar de cuantas naciones hayen el mundo "***.

En los textos anteriores se ve como los pilotos y marineros intentaban siempre medir la altura del polo para de esta manera situar su latitud en el mar. En Cristóbal Colón se ve siempre una tendencia a viajar por el mismo grado de latitud y demuestra su temor cuando pierde la referencia de la estrella Polar, si traspasa la línea equinoccial. En su primer viaje prácticamente navegó por el paralelo 22º N, excepto cuando se aproximaron a las Bahamas que, siguiendo las indicaciones de Vicente Yáñez Pinzón basadas en el vuelo de las aves, cambiaron a rumbo suroeste; y al volver, por el paralelo 28º N para encontrar" el viento vendaval " de poniente.
Este temor a perder de vista la Polar, que Pigafetta menciona al llegar a las costas de Brasil, y que Colón sentía, no era compartido por Vespuccio, que estaba más acostumbrado a navegar por latitudes del hemisferio sur. No en vano trabajó tanto al servicio de la corona portuguesa como de la española y desarrolló una actividad más experimental que la del Almirante en la búsqueda de la " estrella del Firmamento del otro Polo ".
Todos los marinos que navegaban por el Hemisferio Sur se quedaban sorprendidos por la Cruz del Sur, dadas sus magnitudes visuales y su disposición en el cielo, en forma de cruz o de almendra como dice Vespucio. Todos son conscientes de su relación con el camino que señala la dirección del Polo Sur, pero también de que no funcionan como la Polar en el norte, y así hay que hacer otras mediciones o esperar el momento oportuno de la noche para medir la altura del Polo Sur, como bien apunta el Padre José Acosta.
A continuación se va a desarrollar el aparato matemático que nos permita justificar estas afirmaciones de los autores anteriores.
La siguiente figura nos ilustra la explicación geométrica de por qué si mides la altura del Polo Celeste (h) , entonces indirectamente mides tu latitud (φ), pues se sabe que dos ángulos que tienen sus lados perpendiculares entre sí son de igual amplitud, φ = h.



Altura del polo y la latitud

En la misma, observamos la altura de los Polos sobre el horizonte norte, para un observador situado a 40º de latitud norte y la correspondiente a la alcanzada sobre el horizonte sur por otro observador que se encontrara a 30º de latitud sur.
Cuanto mayor sea tu latitud en valor absoluto, mayor será la altura de la Polar.
Si estuvieras en los Polos terrestres, los celestes correspondientes se hallarían sobre tu cabeza, en el cénit, y si te hallaras en el Ecuador, se cumpliría lo que afirmaba Vespucio de " teniendo un polo y el otro al final de nuestro horizonte ".

Si el anterior gráfico recoge el marco teórico e ideal de la altura del polo, la realidad de su búsqueda era distinta, pues existían unas limitaciones observacionales que había que resolver para encontrar su altura exacta, tanto en el hemisferio norte como en el sur.
<u>Limitaciones a la medida de la altura de los polos.</u>
Estas limitaciones se daban por el carácter circumpolar del movimiento de la Polar y del resto de estrellas de la Osa Menor, en el norte boreal, y de las estrellas de la Cruz del Sur en hemisferio austral. Se hace necesario un estudio de las características del movimiento diurno de las dos constelaciones.

Antes de adentrarnos en los cálculos a realizar y con objeto de situarnos más precisamente en la época de estudio, a principios del siglo XVI, es preciso fijar en la esfera celeste las posiciones que ocupaban entonces ambos Polos Celestes y el Punto Aries, diferentes a las actuales a causa del movimiento de precesión de los equinoccios, así como las coordenadas ecuatoriales absolutas (α , δ) que tenían las estrellas que daban forma a ambas constelaciones celestes.

- Coordenadas α y δ de las estrellas

Lo primero que debemos tener en cuenta es el número de siglos julianos (T) transcurridos desde la fecha origen (J 2000) hasta las fechas de destino, que en este caso serán dos años: el 1492 y el 1520, correspondientes respectivamente el primero al año del descubrimiento de América y el segundo a la salida de la expedición de Magallanes. Por tanto tenemos.....
$T_1 = -5{,}08$ para la primera fecha de destino y $T_2 = -4{,}8$ para la segunda.
Una vez tenemos estos datos temporales podemos hallar los ángulos auxiliares de precesión para cada una de las fechas (ζ, Z, θ), haciendo uso de las siguientes expresiones matemáticas:

$\zeta = 2.306'',2181\ T + 0'',30188\ T^2 + 0'',017998\ T^3$ …dando $\zeta_1 = -3^o,252821$ y $\zeta_2 = -3^o,073578$

$Z = 2.306'',2181\ T + 1'',09468\ T^2 + 0'',018203\ T^3$…dando $Z_1 = -3^o,247145$ y $Z_2 = -3^o,068510$

$\theta = 2.004'',3109\ T - 0'',42665\ T^2 - 0'',041833\ T^3$ … dando $\theta_1 = -2^o,829840$ y $\theta_2 = -2^o,67385$

La transformación de las coordenadas ecuatoriales (α_o , δ_o) de las estrellas desde la fecha de origen, hasta las fechas de destino (α , δ), se realiza mediante las siguientes funciones matemáticas:
La declinación (δ): $\operatorname{sen} \delta = \cos (\alpha_0 + \zeta) \operatorname{sen} \theta \cos \delta_0 + \cos \theta \operatorname{sen} \delta_0$
La ascensión recta (α) se determina, en el cuadrante adecuado, según los signos del seno y el coseno del ángulo ($\alpha - z$), a partir de las expresiones:
$\operatorname{sen} (\alpha - z) = \operatorname{sen} (\alpha_0 + \zeta) \cos \delta_0 / \cos \delta$
$\cos (\alpha - z) = [\cos (\alpha_0 + \zeta) \cos \theta \cos \delta_0 - \operatorname{sen} \theta \operatorname{sen} \delta_0] / \cos \delta$
Todos los ángulos están expresados en grados sexagesimales.
α_0 y δ_0 son las coordenadas de cada estrella en el año 2000 d.C., mientras que α y δ son las coordenadas que tenían, respectivamente, cada estrella en los años 1492 y 1520 d.C. En cada fecha temporal hay que hacer las sustituciones con los subíndices $_1$ y $_2$ correspondientes.
Primero se halla la declinación (δ) y después la ascensión recta (α) .
Los signos del sen ($\alpha - z$) y el cos ($\alpha - z$) nos dan el cuadrante en el que se encuentra el ángulo ($\alpha - z$) y, conocido su valor, despejamos α.

Constelación de la Osa Menor

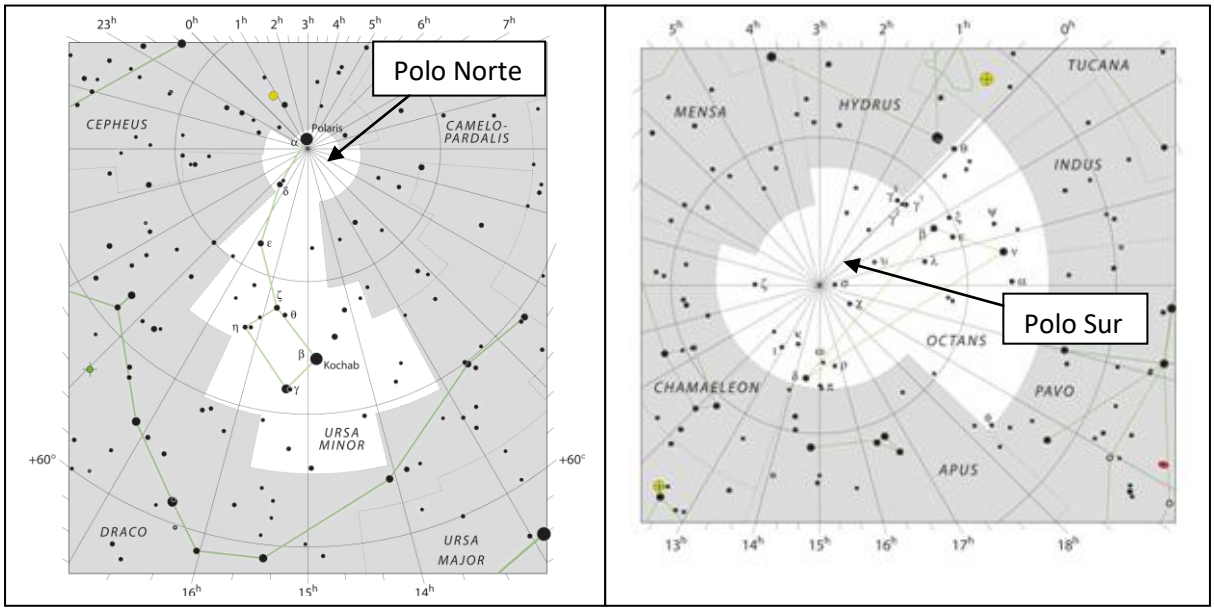
Año	2000		1492		1520	
Estrellas	α	δ	α	δ	α	δ
α	37º,95416	89º,264166	3º,7104411	86º,53977	4º,251621	86º,69561
β	222º,675	74º,1555	223º,49253	76º,2268	223º,41376	76º,113398
γ	230º,18333	71º,83388	230º,71003	73º,63963	230º,65732	73º,540649
δ	263º,0541	86º,58638	300º,22828	85º,97125	298º,63544	86º,048032
ε	251º,49166	82º,03722	265º,6834	82º,60666	264º,84231	82º,593765
ζ	236º,0166	77º,79444	241º,46523	79º,27122	241º,10239	79º,196167
η	244º,375	75º,75527	248º,55372	76º,89052	248º,28901	76º,833073

Constelación de la Cruz del Sur

Año	2000		1520	
Estrellas	α	δ	α	δ
α	186º,65	-63º,09916	180º,210160	-60º,430072
β	191º,929166	-59º,68888	185º,142859	-57º,044569
γ	187º,79166	-57º,11333	181º,336822	-54º,447927
δ	183º,7875	-58º,74888	177º,595118	-56º,075212

- Coordenadas ecuatoriales α y δ de los Polos Celestes

Hay que decir que por convención las coordenadas ecuatoriales del Polo Norte son:
$\alpha = 6$ h = 90º para la ascensión recta y $\delta = 90º$.
El objetivo a conseguir es conocer el punto del cielo, en el marco de referencia J2000, que con unas coordenadas α_0 y δ_0 eran los Polos Norte y Sur celestes en el año de 1520.
Para hallar la ascensión recta α_0 hay que utilizar la expresión :
$\text{sen}\,(\alpha - z_2) = \text{sen}\,(\alpha_0 + \zeta_2)\cos\delta_0 / \cos\delta$.... o ..$\text{sen}\,(\alpha - z_2)\cdot\cos\delta = \text{sen}\,(\alpha_0 + \zeta_2)\cos\delta_0$
pero $\cos\delta = \cos 90º = 0$.... y por consiguiente.....$\text{sen}\,(\alpha_0 + \zeta_2)\cos\delta_0 = 0$, lo que solo puede ser si... $\text{sen}\,(\alpha_0 + \zeta_2) = 0$... o ...$\cos\delta_0 = 0$. La última condición no es posible ya que entonces $\delta_0 = 90º$.. o.. $\delta_0 = 180º$ y ambos valores de δ_0 no son consistentes con lo que se busca, quedando solo la segunda condición ... $\text{sen}\,(\alpha_0 + \zeta_2) = 0$, que implica que..... $(\alpha_0 + \zeta_2) = 0º$ o... $(\alpha_0 + \zeta_2) = 180º$.....
Si.... $(\alpha_0 + \zeta_2) = 0º$.... entonces.....$\alpha_0 = 0º - \zeta_2$ .....y sustituyendo el valor de ζ_2.... tenemos
$\alpha_0 =$ = 3º,07357833 = 0 h 12 m 17,66 s (1)
Si ... $(\alpha_0 + \zeta_2) = 180º$... entonces.... $\alpha_0 = 180º - \zeta_2$.... y sustituyendo el valor de ζ_2.....
$\alpha_0 =$ 183º,07357833 = 12 h 12 m 17,66 s (2)
Para hallar la declinación δ_0 nos servimos de la expresión:
$\cos(\alpha - z_2) = [\cos(\alpha_0 + \zeta_2)\cos\theta_2\cos\delta_0 - \text{sen}\,\theta_2\,\text{sen}\,\delta_0] / \cos\delta$.....y como.....
$\cos\delta = \cos 90º = 0$...entonces $[\cos(\alpha_0 + \zeta_2)\cos\theta_2\cos\delta_0 - \text{sen}\,\theta_2\,\text{sen}\,\delta_0] = 0$.....y despejando .. $\cos(\alpha_0 + \zeta)$...queda... $\cos(\alpha_0 + \zeta) = \text{tag}\,\theta\cdot\text{tag}\,\delta_0$.... y...$\text{tag}\,\delta_0 = \cos(\alpha_0 + \zeta) / \text{tag}\,\theta$
...y llevando a esta ecuación los valores α_0 (1) y α_0 (2) obtenidos anteriormente sacamos...respectivamente.....$\delta_0 = -87º,32614002$ ... y.... $\delta_0 = 87º,32614002$ y se concluye que....las coordenadas del Polo Norte son ..... $\alpha_0 = 183º,073578$ y $\delta_0 = 87º, 326140$ y las del Polo Sur son..... $\alpha_0 = 3º,073578$ y $\delta_0 = -87º, 32614$.



- Coordenadas ecuatoriales α y δ del Punto Aries

Se define el Punto Aries (♈) como la intersección del plano de la Eclíptica con el Ecuador celeste. Tiene unas coordenadas $\alpha = 0^o$ y $\delta = 0^o$

Se busca encontrar el punto celeste de coordenadas α_0 y δ_0, en el marco de referencia J2000, que en el año 1520 era el Punto Aries, con unas coordenadas: α y δ.

Para calcular la declinación δ_o hacemos uso de la expresión :

sen δ = cos ($\alpha_o + \zeta_2$) sen θ_2 cos δ_o + cos θ_2 sen δ_o ....Como sen δ = sen $90^o = 0$,....entonces.. ..... cos ($\alpha_o + \zeta_2$) = – cos θ_2 sen δ_o / sen θ_2 cos δ_o . Sustituyendo esta ecuación en..... ....cos ($\alpha - z_2$) = [cos ($\alpha_o + \zeta_2$) cos θ_2 cos δ_o – sen θ_2 sen δ_o] / cos δ y teniendo en cuenta que cos $\delta = 1$ y $\alpha = 0$, llegamos a..... cos – z_2 = - sen δ_o / sen θ_2 ..... entonces sustituyendo valores de z_2 y θ_2 y despejando δ_0, tenemos que $\delta_0 = 2^o,670023 = 2^o\ 40'\ 12''$

Para la ascensión recta α_0 se parte de la ecuación:

sen ($\alpha - z_2$) = sen ($\alpha_o + \zeta_2$) cos δ_o / cos δ.....

como sabemos que cos δ = cos 0° = 1 y que $\alpha = 0^o$ y hemos calculado antes el valor de δ_0

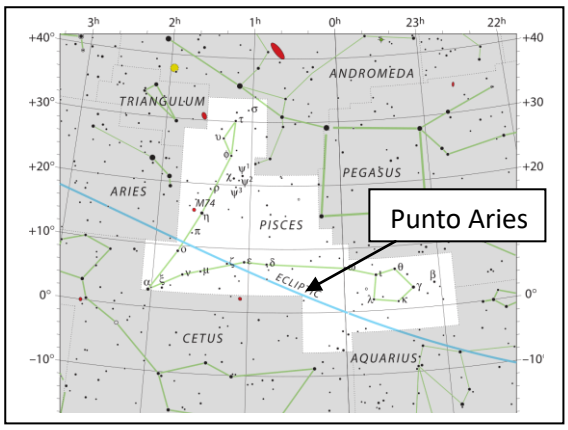
...llegamos a..sen ($\alpha_0 + \zeta_2$) = sen $-z_2$ / cos δ_0

entonces.... ($\alpha_0 + \zeta_2$) = $3^o,07184875$ y .....

$\alpha_0 = 6^o,14542708$ = 0 h 24 m 34,9 s

Se concluye que el punto Aries (♈) en el año de 1520 estaba en la constelación de Piscis y tenía unas coordenadas ecuatoriales:

$\delta_0 = 2^o\ 40'\ 12''$ y α_0 = 0 h 24 m 34,9 s



Con objeto de complementar la información creo conveniente decir cuál era la inclinación del eje terrestre, en primer lugar porque está relacionado con los puntos celestes hallados antes, pero también porque influyen en la declinación diaria del Sol, ligeramente diferente entonces con respecto ahora. Estas inclinaciones de la Eclíptica son :

Años	1492	1520	2000	2020
Incl. Eclíptica, ε	$23^o,50527025$	$23^o,50164104$	$23^o,43929111$	$23^o43663972$

- Movimiento diurno de la Estrella Polar (1492)

Este punto trata de describir el movimiento circumpolar diario que seguía la Polar en su trayectoria circular alrededor del Polo, aplicado a un día del mes de septiembre de 1492, durante el primer viaje de Colón y a lo largo del paralelo 28º norte, que fue el seguido mayoritariamente por él durante todo el viaje.

Las coordenadas ecuatoriales de la Polar eran : $\alpha = 3^o,7104411$ y $\delta = 86^o,53977$

- Culminación superior.

Se entiende que la Polar culminaba superiormente en el meridiano cuando transitaba por el mismo y por un punto situado entre el Polo y el cénit del horizonte local. En ese momento su ángulo horario era H = 0º y su acimut A = 180º

Para hallar la otra coordenada horizontal, la altura (h), nos ayudamos de la siguiente expresión:

sen h = cos φ · cos δ · cos H + sen φ · sen δ (1) Sustituyendo valores.... h = $31^o,460223$

Este resultado es el esperado ya que el Polo Norte está a una altura igual a la latitud del lugar, en este caso $\varphi = 28^o$, y como el complementario de la declinación, ($90^o - \delta$) , igual a ..... $90^o - 86^o,539777 = 3^o,460223$, habría que sumarlo a la altura del Polo, entonces.... la altura sobre el horizonte de la Polar es igual a.... h = $28^o + 3^o,460223 = 31^o,460223$

El tiempo sidéreo local (θ) en su culminación superior era:

$\theta = H + \alpha = 0^o + 3^o,710441 = 3^o,710441$ = 0h 14 m 50,51 s

- Culminación inferior.

La Polar alcanza su culminación inferior cuando alcanza el meridiano local en un punto situado entre el Polo y el horizonte local norte. En ese momento su acimut sigue siendo de $A = 180º$, pero su ángulo horario es $H = 180º$.

Aplicando la ecuación (1) obtenemos que $h = 24º,539777$, una altura que corresponde a restar a la altura teórica del Polo, igual a la latitud, el complementario de la declinación, es decir, $h = 28º - 3º,460223 = 24º, 539777$

El tiempo sidéreo de su culminación inferior es igual a :

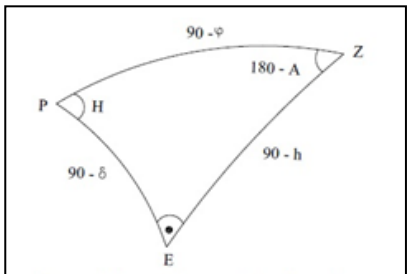
$\theta = H + \alpha = 180º + 3º,710441 = 183º,710441 = 12\ h\ 14\ m\ 50,51s$

- Máxima disgresión.

Decimos que la Polar está en su máxima digresión, occidental u oriental, cuando pasa por el vertical de acimut mínimo o máximo, respectivamente. En una máxima digresión el ángulo paraláctico es 90º, por consiguiente el ángulo PEZ de la figura vale 90º. Este ángulo está delimitado por el vertical que pasa por la Polar y su círculo de declinación.

Haciendo uso de la primera fórmula de Bessel sobre el lado PZ tenemos:

$\cos (90º - \varphi) = \cos (90º - \delta) \cdot \cos (90º - h) + \text{sen} (90º - \delta) \cdot \text{sen} (90º - h) \cdot \cos 90º$... o ... $\text{sen}\ \varphi = \text{sen}\ \delta \cdot \text{sen}\ h + \cos \delta \cdot \cos h \cdot \cos 90º$,..... pero $\cos 90º = 0$, ...por lo que queda al despejar.... $\text{sen}\ h = \text{sen}\ \varphi / \text{sen}\ \delta$ (2)



triangulo de posición en máxima digresión.

Sustituyendo valores obtenemos la altura de la Polar en el momento de su máxima digresión igual a :

$h = 28º, 0556565 = 28º\ 3'\ 20'',36$

Aplicando la tercera fórmula de Bessel, y teniendo en cuenta también la relación de un ángulo con su complementario, llegamos a la siguiente expresión :

$\text{sen}\ z \cdot \cos 90º = \text{sen}\ \varphi \cdot \cos \delta - \cos \varphi \cdot \text{sen}\ \delta \cdot \cos H$

la cual nos lleva a ... $\cos H = \text{tag}\ \varphi / \text{tag}\ \delta$ (3), y a unos ángulos horarios $H_1 = 88º,157609$ para la máxima digresión occidental y para la correspondiente oriental, $H_2 = 360º - H_1 = 271º,842391$

Nos queda averiguar los acimuts (A) con los que se producen sus máximas digresiones y para hallarlo usamos la segunda fórmula de Bessel :

$\text{sen}\ A / \cos \delta = \text{sen}\ 90º / \cos \varphi$ y despejando sen A nos da que $\text{sen}\ A = \cos \delta / \cos \varphi$ (4) que aplicada sobre la Polar nos queda $A_1 = 176º,080381$, para la occidental , y para la oriental $A_2 = A_1 + 180º = 183º,919619$, ya que en la máxima digresión occidental el acimut se encuentra en el siguiente intervalo $90º < A < 180º$, mientras que en la oriental lo está entre $180º < A < 270º$.

Analizando los resultados obtenidos llegamos a la conclusión de que la estrella Polar, en su movimiento alrededor del Polo, marcaba más o menos la altura del Polo cuando se encontraba en sus máximas digresiones, indicando aproximadamente la latitud por la que se navegaba, pero entonces no señalaba la dirección del norte geográfico. Este punto cardinal era indicado durante sus culminaciones inferior y superior y, si en estos momentos se medía su altura sobre el horizonte (mejor con la ballestilla que con el cuadrante) y se hacía su media, se obtenía la latitud exacta:

$\varphi = (h_s + h_i) / 2 = (31º,460223 + 24º,539777) / 2 = 28º$

Ahora estamos en condiciones de entender la perplejidad y el temor a desorientarse que sintieron los marineros cuando observaron las posiciones de la "estrella del Norte " y cómo Colón se las disipó explicándoles que describía un círculo en el cielo.

Este temor era relativo porque esta gente de mar disponía de otro saber, acumulado en días y días de navegación, por el que se fijaban también en el movimiento global de toda la Osa Menor y en particular en las Guardas, que eran sus estrellas β y γ.

A continuación se va a realizar un estudio detallado del cielo que pudo acompañar a las tres

embarcaciones la noche del lunes 17 de septiembre de 1492, a los pocos días de haber partido de la Gomera, en las Canarias. Se ha elegido esta fecha porque se piensa que ese día la expedición navegaba sobre la línea agónica, o línea de declinación magnética 0º, y también frontera para el cambio en la dirección de las brújulas. Este modelo de estudio puede aplicarse también perfectamente a las observaciones que dejó Colón anotadas en su Diario para el domingo 30 de septiembre, y corroboradas posteriormente por su hijo Hernando; o extrapolarlo a cualquier otra fecha, no necesariamente de este viaje, sino de otros viajes con otros protagonistas y en otros lugares geográficos, tanto del hemisferio norte como del sur.
Los textos que recogen estos hechos son :

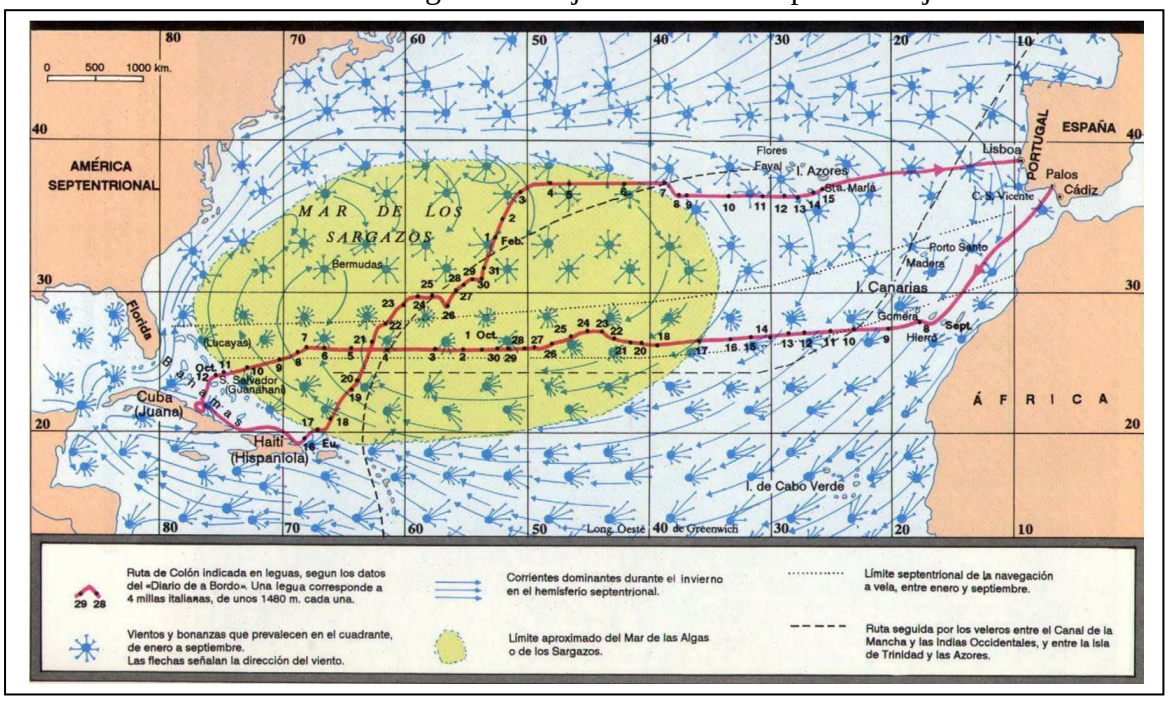
* Cristóbal Colón
- Lunes, 17 de septiembre (Primer viaje) : ***" Tomaron los pilotos el Norte, marcándolo, y hallaron que las agujas noruesteavan una gran cuarta, y temían los marineros y estavan penados y no dezían de qué. Cognoscíolo el Almirante, mandó que tornasen a marcar el Norte en amaneciendo, y hallaron qu'estavan buenas las agujas. La causa fue porque la estrella que pareze hace movimiento y no las agujas "***.
- Domingo, 30 de septiembre : ***" Nota que las estrellas que se llaman las Guardas, cuando anochece, están junto al brac,o de la parte de Poniente, y cuando amanece están en la línea debaxo del brac,o al Nordeste, que parec,e que en toda la noche no andan salvo tres líneas, que son 9 oras, y esto cada noche "***.
- Tercer viaje, al regresar y cerca de Azores : ***" Cuando allí estoy, hallo que la estrella del Norte escrive un círculo, el cual tiene en el diámetro cinco grados, y estando las Guardas en el brac,o derecho, entonces está la estrella en el más baxo y se va alc,ando fasta que llega al brac,o izquierdo y entonces está cinco grados, y de allí se va abaxando fasta llegar a bolver otra vez al brac,o derecho "*** y ***"Fallé allí que, en anocheciendo, tenía yo la estrella del Norte alta cinco grados, y estonces las Guardas estavan enc,ima de la cabec,a; y después, a la media noche, fallava la estrella alta de diez grados, y en amaneciendo, que las Guardas estaban en los pies, quince "***y, por último, ***"Y esta altura causa el desvariar del círculo que escrive la estrella del Norte con las Guardas, y cuanto más pasare junto con la línea equinoc,ial, más se subirán en alto y más differenc,ia avrá en las dichas estrellas y en los c,írculos d'ellas "***.

* Hernando Colón
- Capítulo XVIII, página 99 (Primer viaje) : ***"Pero mucho más se asombró el tercer día, cuando había ya ido cien leguas más adelante de aquel paraje, porque las agujas, al principio de la noche noroesteaban con la cuarta, y a la mañana, se dirigían a la misma estrella "***, sobre lo ocurrido el 17 de septiembre,
- Capítulo XX, página 105 (Primer viaje) : ***" Pero, aunque el Almirante tuviese atención a todos estos indicios, observaba los del cielo y el curso de las estrellas, por donde notó en aquel paraje, con grande admiración, que de noche, las Guardas estaban justamente en el brazo del Occidente, y cuando era de día, se encontraban en la línea bajo el brazo, al nordeste. De lo que deducía que en toda la noche no caminaban sino tres líneas, que son nueve horas, y esto lo comprobaba todas las noches. Igualmente notó que desde las primeras horas de la noche, las agujas noroesteaban toda una cuarta, y cuando amanecía, miraban derechamente a la estrella polar. Por cuyos motivos, los pilotos estaban con grande inquietud y confusión, hasta que él les dijo que de esto era causa el círculo que hace la estrella polar o del Norte, rodeando el polo "***, sobre lo ocurrido el domingo 30 de septiembre.
El lunes 17 de septiembre.
Lo primero a dejar claro es que aunque la fecha del calendario juliano era el 17 de septiembre la fecha astronómica que estamos tratando es la del 26 de septiembre, es decir, el Sol ya

ha atravesado el punto Libra, su declinación es negativa y su ascensión recta un poco mayor de 180º o 12 horas.

- <u>El lugar geográfico.</u>

Es un poco arriesgado el intentar localizar en qué punto del Atlántico se encontraban ese día, pues no conocemos con exactitud ni el paralelo por el que se desplazaba - suponemos que era el 28º norte - , ni tampoco el número exacto de leguas recorridas, ya que llevaba una doble contabilidad; las que contaba haber recorrido a la tripulación y las suyas propias, que siempre resultaban ser un poco más, con las intención de reducir la distancia recorrida y animar así a los marineros. En la figura de abajo se detalla este primer viaje.



Yo, siguiendo al Almirante en su anotación en el Diario y haciendo la suma me salen unas 326 leguas las recorridas hasta la medianoche de ese día.

Para transformarlas en km, las voy a multiplicar por 5,5 Km que eran los que se asignaban a cada legua castellana en el siglo XVI. De esta manera, desde que partieron de la isla de la Gomera habrían recorrido: 326 leguas · 5,5 km = 1.793 km

Para hallar cuántos grados en longitud corresponden a esta distancia en el paralelo 28º realizamos los cálculos siguientes :

El radio (R_p) del paralelo es igual al radio terrestre (R_t) multiplicado por el coseno de 28º entonces.....$R_p = R_t \cdot \cos 28º = 6.371 \text{ km} \cdot \cos 28º = 5.625{,}259$ km.

La longitud de todo el paralelo terrestre es igual a... $L = 2 \cdot \pi \cdot R_p = 35.344{,}545$ km, que al dividir entre 360º obtenemos que son 98,179 km los que corresponden a cada grado en este paralelo 28º.

Si dividimos los 1.793 km entre 98,179 Km / º nos dan los grados en longitud oeste recorrida de forma aproximada, unos 18º,262 y redondeando tenemos 18º.

Teniendo en cuenta que las coordenadas geográficas de la Gomera son :

Latitud (φ) = 28º,116 y Longitud (λ) = 17º,216.

Haciendo un redondeo de todas las cantidades, ya podemos aventurarnos a dar las coordenadas geográficas del lugar : <u>Latitud (φ) = 28º norte y Longitud (λ) = 17º + 18º = 35º</u>

<u>El crepúsculo náutico.</u>

Es de suponer, y así lo hemos visto en las citas de los textos, que cuando se hacía la noche y se hacían visibles las estrellas más brillante, entre las que se encuentran las de la Osa Menor, Colón observaría sus posiciones, en particular a la Polar y a las Guardas.

Este momento en el mar corresponde al crepúsculo náutico, que se produce cuando el Sol está debajo del horizonte 12º. Inmediatamente surge la pregunta de a qué hora se dio ese momento, ese día y en ese punto concreto del Atlántico.
Sin tener en cuenta la refracción ni el paralaje, el ángulo horario (H) con el que el Sol se puso ese día se halla mediante la siguiente fórmula :
$\cos (H) = - \text{tag}\ \varphi \cdot \text{tag}\ \delta$ (5) , siendo $\varphi = 28º$, la latitud y δ la declinación solar ese día.
La declinación solar no era ese día igual a la de hoy, puesto que la inclinación del eje terrestre ha variado y está decreciendo paulatinamente. En el año 1492 esta inclinación, era igual a... $\varepsilon = 23º,50527025$ y la expresión que nos da la declinación solar diaria, en función de la Eclíptica es:
$\text{sen}\ \delta = \text{sen} -23º,50527025 \cdot \cos [(360º/365,24) \cdot (N+10) + (360º/\pi) \cdot 0,0167 \cdot \text{sen} [(360º/365.24) \cdot (N-2)]]$

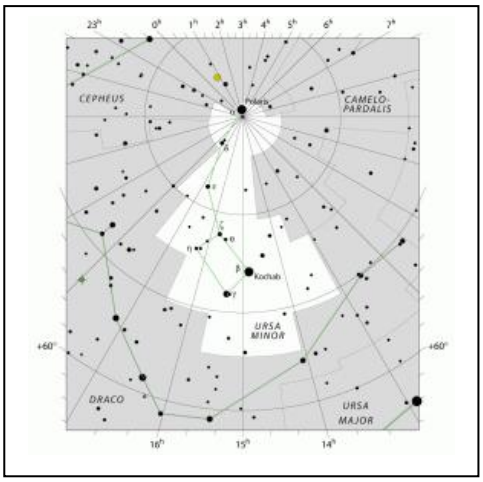
Como esos días próximos al equinoccio de otoño la declinación varía significativamente de día en día, tomo la media entre la declinación del día 26 de septiembre, $\delta = - 1º,62$, y la del día siguiente, $\delta = - 2º,01$, resultando una $\delta = - 1º,8$.
Llevando estos valores a la expresión (5) , obtenemos $H_1 = 89º,042563$ = 17 h 56 m y 10 s para el ocaso y $H_2 = 270º,957436$ = 6 h 3 m 49 s, para el orto.
Para hallar el ángulo horario H del Sol cuando se encontraba 12º debajo del horizonte, es decir $h = - 12º$ se hace uso de:
$\cos H = (\text{sen}\ h - \text{sen}\ \delta \cdot \text{sen}\ \varphi) / (\cos \delta \cdot \cos \varphi)$ (6) y realizando las oportunas sustituciones tenemos... $H'_1 = 102º,643326$ = 18 h 50 m 34,4 s para el comienzo del crepúsculo vespertino náutico, y $H'_2 = 257º,356673$ = 5 h 9 m 24,6 s para el correspondiente matutino.
Así pues, el tiempo transcurrido entre el ocaso (o el orto) y el comienzo (o el final) del crepúsculo náutico es igual a ...$H'_1 - H_1$ =18 h 50 m 34,4 s − 17 h 56 m 10 s = 54 m 24,4 s
Una vez se conoce esta hora crepuscular, lo siguiente es saber la hora sidérea local (θ_l) en ese momento, pero antes hay que calcular la correspondiente hora sidérea (θ_o) en Greenwich.
Conocido θ_l se podrá hallar tanto el ángulo horario (H), como el acimut (A) y la altura (h) de cada estrella de la Osa Menor, tal y como las pudieron ver los pilotos de las tres embarcaciones sobre el horizonte norte ese día al anochecer en el Atlántico.
Como paso previo hay que saber la fecha juliana que corresponde a ese momento, la cual fue hallada con anterioridad: DJ 2.266.271,3823
A continuación la siguiente fórmula nos va a dar, expresado en grados, el tiempo sidéreo (θ_o) buscado, sabiendo antes el número de centurias transcurridas desde el año 2000 hasta el suceso a estudiar.

$T = (DJ - 2.451.545,0) / 36.525 = (2.266.271,3823 - 2.451.545,0) / 36.525 =$
$= - 5,072515201$ centurias.

$\theta_o = 280,46061837 + 360,98564736629 \cdot (DJ - 2.451.545,0) + 0,000387933\ T^2 -$
$- T^3 / 38.710.000$ (7)

Sustituyendo el valor de T , nos queda .. $\theta_o = - 66.880.836º,35$ y dividiéndolo por el múltiplo adecuado de 360º nos da $\theta_o = 323º,6452747$
El tiempo sidéreo local (θ_l) es igual a .....$\theta_l = \theta_o - \lambda = 323º,6452747 - 35º = 288º,6452747$
Ya contamos con los datos necesarios para poder calcular el ángulo horario y las coordenadas horizontales, (A, h) de cada una de las estrellas.
Como ejemplo de aplicación voy a realizar los cálculos referidos a la estrella Polar (α de Osa Menor) y a Kochab (β de Osa Menor).

Coordenadas horizontales (A,h) y ángulo horario (H) de la Polar y Kochab



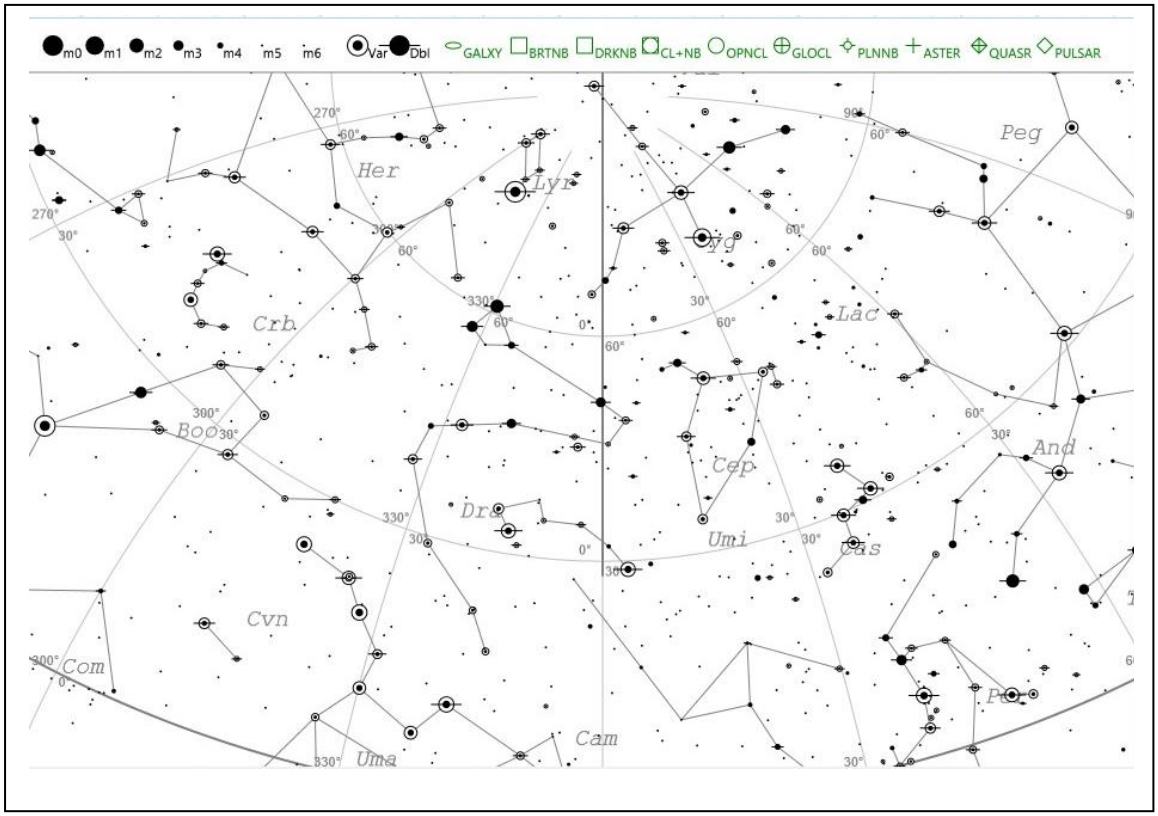
Datos: $\varphi = 28^o$ N.... $\lambda = 35^o$ O
$\theta_l = 288^o,6452747$
Coordenadas ecuatoriales (α, δ) de las dos estrellas :

Estrella	Ascensión recta α	Declinación δ
Polar	$3^o,710441139$	$86^o,53977752$
Kochab	$223^o,4925308$	$76^o,22680304$

Relacionando el ángulo horario con el tiempo sidéreo,
$H = \theta_l - \alpha$ y realizando las sustituciones oportunas....
.. para la Polar : $H = 288^o,6452747 - 3^o,710441139 =$
$= 284^o, 9348336 = 18$ h 59 m 44,36 s
.. para Kochab : $H = 288^o6452747 - 223^o,4925308 =$
$= 65^o,1527439 = 4$ h 20 m 36,66 s
El valor del acimut lo obtenemos de la siguiente expresión:
$\text{tag } A = \text{sen } H / (\cos H \cdot \text{sen } \varphi - \text{tag } \delta \cdot \cos \varphi)$ (8) .....sustituyendo los valores sabemos el acimut de la Polar, $A = 183^o,817188$ y el de Kochab, $A = 165^o,076344$
El acimut se cuenta desde el punto sur hacia el oeste, en sentido de las agujas de reloj.
Para hallar la altura h , nos basamos en la ley de los cosenos de Bessel aplicada al triángulo esférico formado por el cénit (Z) , polo (P) y estrella (E) , sobre el lado EZ.
$\text{sen } h = \text{sen } \varphi \cdot \text{sen } \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos H$ ..... sustituyendo .....
Altura de la Polar : $h_p = 28^o,838984$ y la altura de Kochab : $h_k = 32^o,977061$
De una forma similar, hallamos los demás datos respecto al resto de estrellas, que se recogen en el siguiente cuadro y para el mismo tiempo sidéreo.

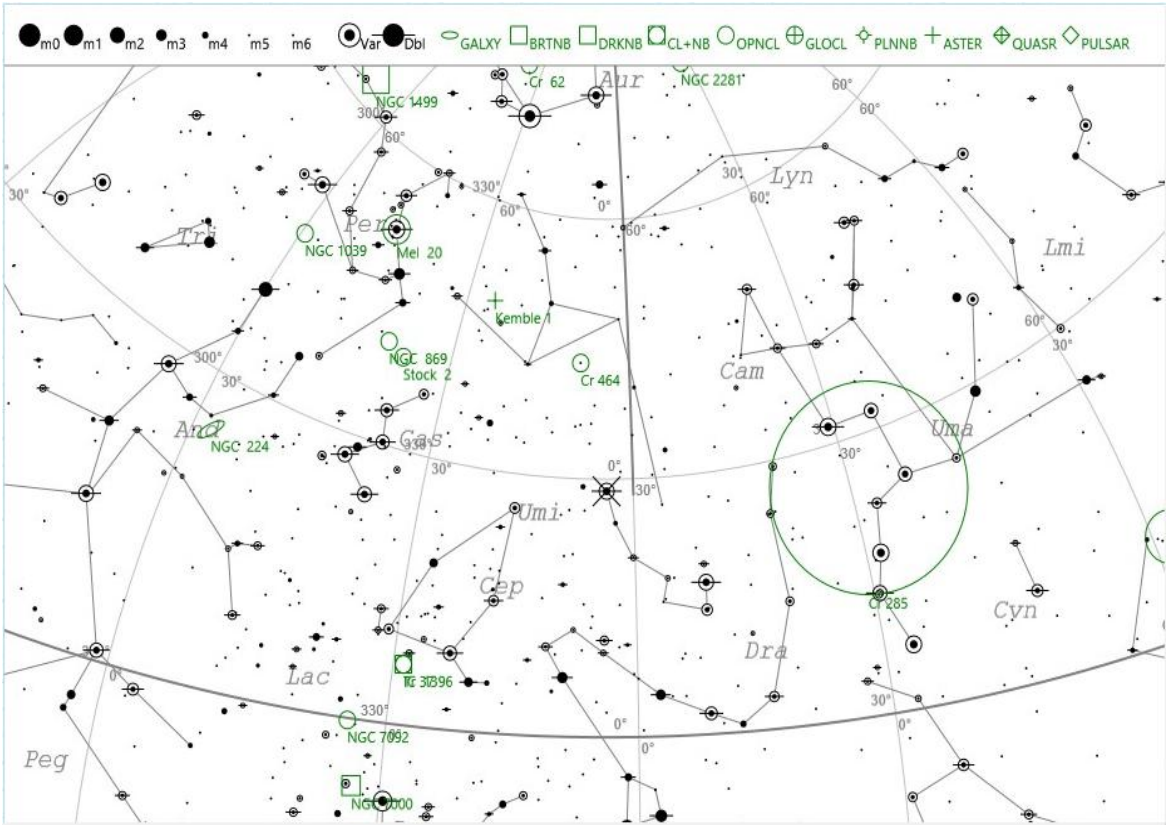
estrellas	ángulo horario H	acimut A	altura h
α	284°, 9348336	$183^o,817188$	$28^o,838984$
β	$65^o,1527439$	$165^o,076344$	$32^o,977061$
γ	57,9352388	162,9220165	35,6262221
δ	348,4169931	180,9525324	31,9434033
ε	22,9618715	176,4966391	34,7630412
ζ	47,1800420	170,4092662	34,9587406
η	40,0915543	169,372857	37,6214111

Estos resultados corresponden al momento en el que comenzó el crepúsculo náutico por la tarde, siendo las 18 h 50 m 34,4 s de hora local, el Sol hacía cerca de una hora que se había puesto y se encontraba un poco más de 12° debajo del horizonte. En la figura de abajo se pueden ven las constelaciones que se encontraban sobre el horizonte norte.
Las líneas curvas concéntricas desde el cénit son los círculos de altura, representados cada 30°, mientras que las que parten desde este mismo punto, de forma radial, son los acimuts, representados también a intervalos de 30°, pero con el acimut medido desde el norte geográfico, es decir, el Norte en el gráfico tiene un $A = 0^o$ y partiendo de él, creciente en el sentido de las agujas de reloj.



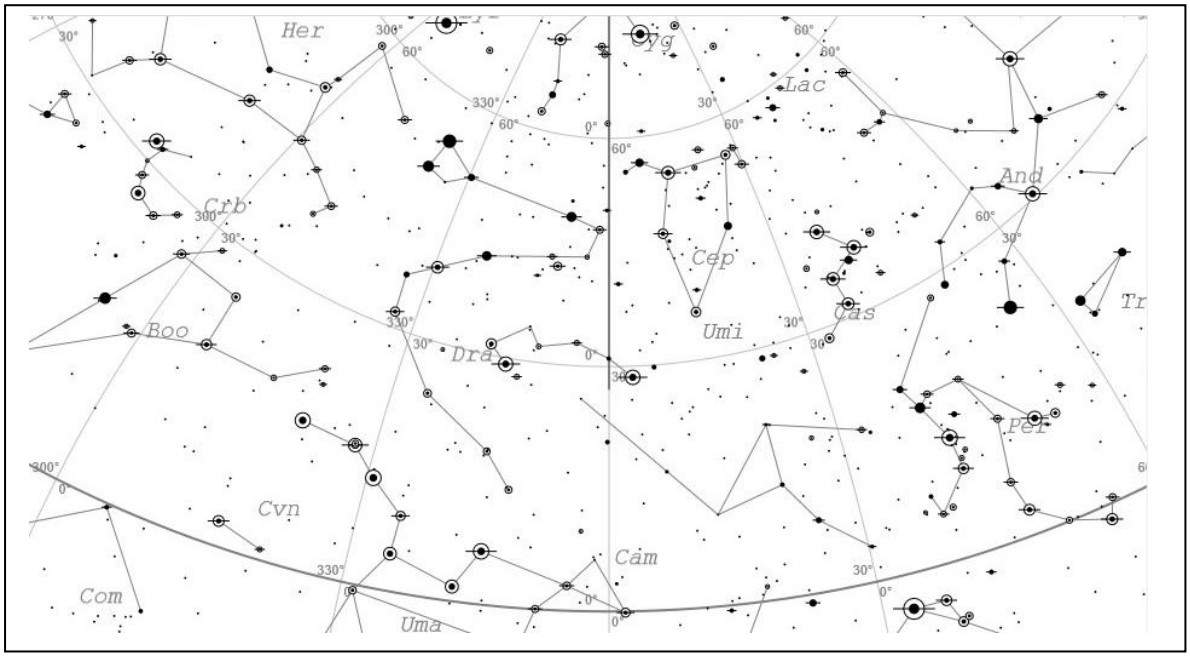
Con objeto de poder interpretar correctamente las palabras de Colón, asentadas en su Diario el día 17 de septiembre, a continuación voy a dar un cuadro y una figura similar a las anteriores, pero esta vez correspondiente al momento en el que finalizaba el crepúsculo náutico por la mañana, y dejaban de verse las estrellas, por el amanecer que ya se acercaba. Como anteriormente se dedujo, este momento sucedió a las 5 h 9 m 25,6 s, hora local.

estrellas	ángulo horario H	acimut A	altura h
α	80,0709181	176,1194531	28,5421131
β	220,2888285	189,2739232	17,1949698
γ	213,0713235	189,1150461	14,0074422
δ	143,5530777	177,3661024	24,7343412
ε	178,0979562	179,7385549	20,6104992
ζ	202,3161267	184,2627623	18,0113977
η	195,227639	183,5411067	15,3077958

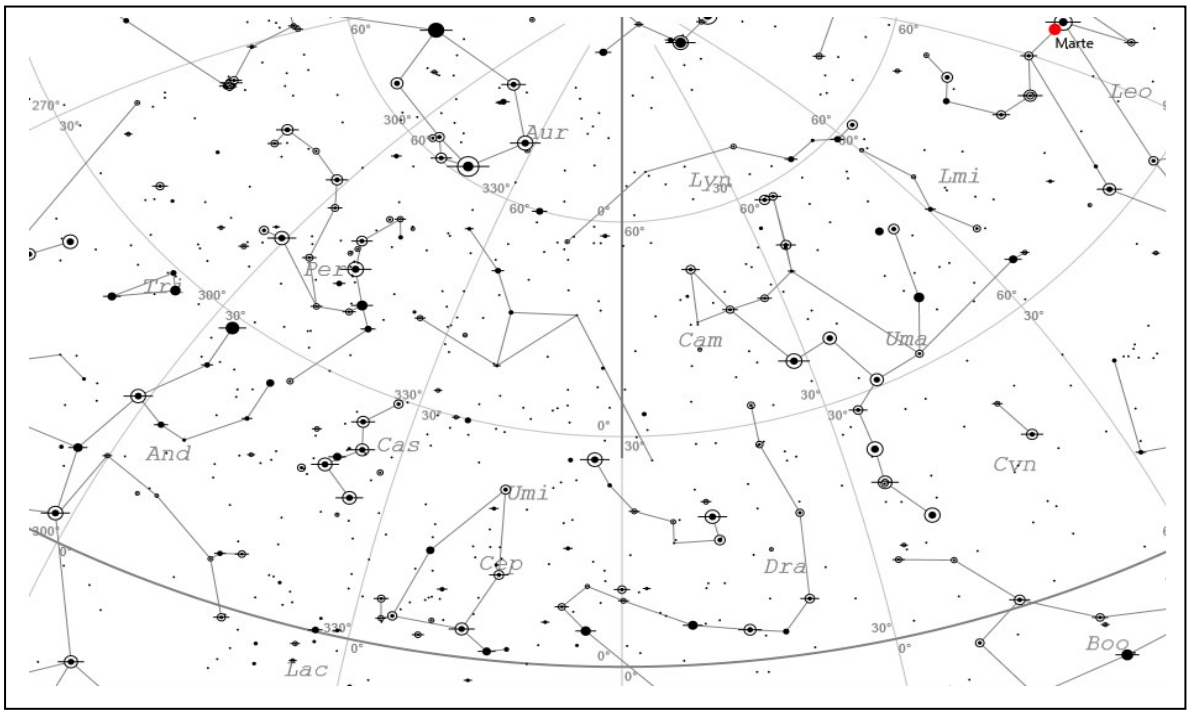


Ahora ya somos capaces de hacer una interpretación, tanto de las palabras del Almirante como las de su hijo Hernando para lo sucedido ese día.
Hay que tener en cuenta que ya habían atravesado la línea de cambio en la orientación de la desviación magnética de las agujas, aunque Hernando recoge en su historia sobre el Almirante que la pasaron unos días antes, el 13 de septiembre, dado el comportamiento que tuvieron las agujas. Ahora sin duda se desviaban al noroeste, y no como lo habían hecho los días anteriores, hacia el este.
Por otro lado, al anochecer la Polar se encontraba al este del meridiano, es decir la estrella del Norte en ese momento noresteaba, mientras que las agujas noroesteaban casi una cuarta. Al amanecer, estando la Polar al oeste del meridiano, las agujas seguían marcando la dirección del norte magnético y se orientaban hacia el noroeste, la misma que la aguja. Todos podían estar tranquilos..." ***la estrella que pareze hace movimiento y no las agujas*** ".
Ya que las mejores referencias al comportamiento de las Guardas se dan, tanto para Colón como para su hijo el 30 de septiembre, y teniendo en cuenta la importancia que le daban a estas Guías celestes los marinos de la época, voy a realizar un análisis del atardecer y del amanecer de ese día final del mes de septiembre de, pero ahora en un nuevo punto del Atlántico, dado que casi habían transcurrido dos semanas con respecto a la anterior cita y se habían desviado un poco hacia el sudoeste, por supuestos indicios luego no confirmados de avistamiento de tierra el día 25 del mismo mes.
Se dan los datos con los que se van a trabajar y las figuras correspondientes al horizonte norte, con las constelaciones visibles en los momentos de los respectivos crepúsculos náuticos.

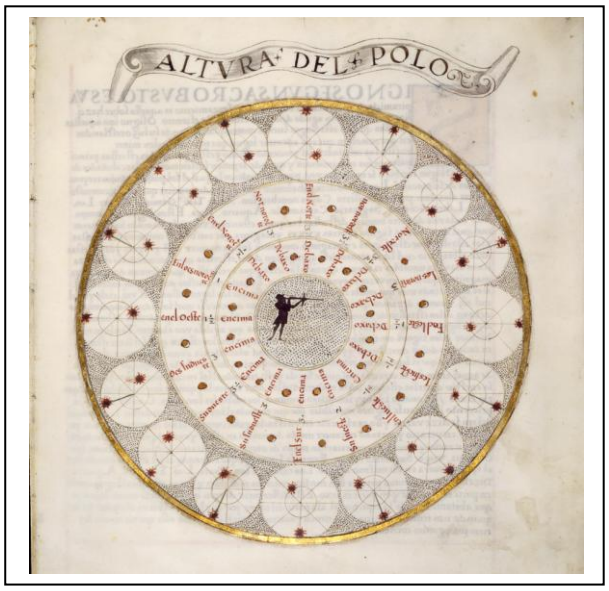
Como se habían recorrido desde el 13 de septiembre unas 291 leguas = 1.600 km según el Diario y habían bajado un poco en latitud, propongo como coordenadas del nuevo punto las siguientes :
latitud (φ) = 27º N y longitud (λ) = 51º O.
Seguían estando en medio del Océano. La declinación solar era aproximadamente igual a $\delta = -3º,2$.
El crepúsculo náutico vespertino tuvo lugar a las 18 h 47 m 21 s en la hora local (las 22 h, 11 m, 21 s en TU). El día juliano era JD = 2.266.284,4245 y el tiempo sidéreo correspondiente a ese momento igual a θ_l = 300º,709832.



El crepúsculo náutico matutino se dio a las 5 h 12 m 38 s hora local (8 h 36 m 38 s TU).
El día juliano JD = 2.266.284,8587 y el tiempo sidéreo, θ_l = 97º,458658.

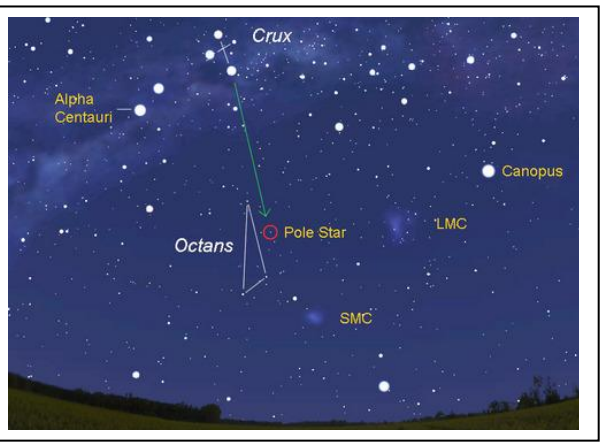


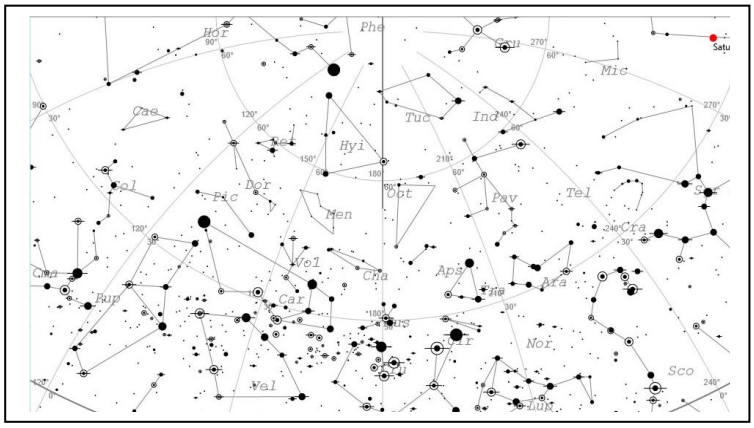
En los dos cuadros de arriba se pueden ver cómo efectivamente, al anochecer, las Guardas se encontraban en el brazo de poniente, mientras que al amanecer se hallaban debajo del brazo oriental, habiendo recorrido tres líneas en la noche, que corresponden a 135º o lo que es lo mismo, a nueve horas de tiempo (9 x 15º).
Como ocurría desde que habían pasado la línea agónica, las brújulas y la estrela Polar se orientaban de forma dispar, según fuera el principio de la noche o el final.
En el gráfico de la derecha se ve una representación de la época con las posiciones respectivas de la Polar y las Guardas en el cielo nocturno.



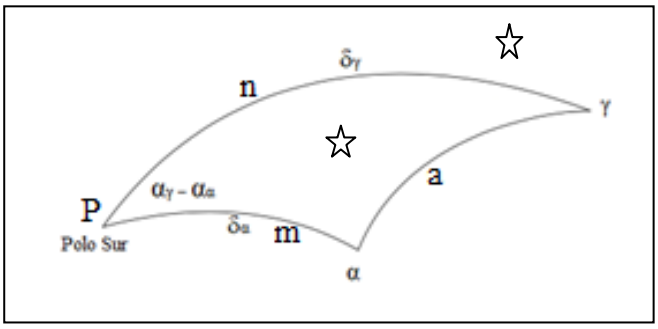
La latitud y la altura del Polo en el Hemisferio Sur.

Como se ha visto en las citas referidas a la búsqueda de la altura del polo en el Hemisferio Sur, Vespucio lo intentó con denuedo pero no lo halló, pues no había una estrella que lo señalara, Pigafetta nos comenta como era la forma y disposición de las estrellas de la Cruz del Sur, probablemente vista cuando estuviera en el Estrecho de Magallanes, pero es el Padre Acosta quien, en la segunda mitad del siglo XVI nos da una visión más realista de la función y de las limitaciones que se daban cuando se intentaba buscar el Polo Sur, ayudándose de esta constelación o " Crucero ".
Esta constelación, como el resto de las circumpolares australes, tiene un movimiento diario y también anual alrededor del Polo Sur en sentido de las agujas del reloj, contrario pues a las circumpolares boreales del norte.
Esta disposición estelar no pasó desapercibida para ningún navegante en los mares del sur, ya que la prolongación de las dos estrellas que forman su lado más largo (γ, α) nos llevan hacia la región del Polo Sur, como se puede ver en la foto de al lado.
Hoy en día hay que prolongar un número de veces esta distancia (4,5 veces) y ayudarse un poco con las estrellas α y β del Centauro para localizarlo.
En la época del viaje de Magallanes las coordenadas ecuatoriales





de estas " Guardas " para el Sur, ayudaban más que hoy en su localización, como se puede apreciar en el gráfico anterior, que recoge el horizonte sur local (φ = 54º S , λ = 71º O) en el Estrecho de Magallanes, el día 1 de noviembre de 1520 a las 1 h y 28 m de Tiempo Universal, las 20h 59 m 27 s hora local del 30 de septiembre, cuando la expedición estaba saliendo de su travesía y se encaminaba hacia el Pacífico.
La Cruz del Sur, que empezaría ya a ser visible, pues el Sol se encontraba casi 9º debajo del horizonte, estaría en su culminación meridiana inferior, según se observa en la parte de abajo del cuadro, y las estrellas γ y α , se alineaban entonces con el Polo Sur con más precisión que lo hacen hoy en día. Lo mismo sucedería con la culminación superior, pero ese día no podría verse ya que lo haría a las 13 h y 28 m TU, las 8 h 44 m local y con el Sol unos 40º encima del horizonte noreste.
En una primer análisis sobre las estrellas λ y α de la Cruz, vemos que casi tenían la misma ascensión recta (al igual que sucede hoy), es decir, que se encontraban las dos localizadas casi en el mismo meridiano celeste y por esto cumplían su función de " Guías ". Con la intención de fundamentar más esta última afirmación , voy a hallar todos los elementos que forman el triángulo esférico celeste de vértices las estrellas α, la γ y el Polo Sur, y ver cómo de apropiado es ese camino celeste en la búsqueda del Polo.
Las coordenadas ecuatoriales de α y γ son:



Ácrux (α) :
- Ascensión recta : 180º,2101602
- Declinación : – 60º,4300722

Gacrux (γ) :
- Ascensión recta : 181º,3368225
- Declinación : – 54º,4479271

El complementario de la declinación de Ácrux ($\delta\alpha$) = m = 29º,569927 y el complementario de Gacrux ($\delta\gamma$) = n = 35º,5520729.
La diferencia en ascensiones rectas es ($\alpha\gamma - \alpha\alpha$) = P= 1º,1266623.
Lo primero a calcular es la longitud angular del lado entre las dos estrellas, γ y α (lado a)
cos a = cos n · cos m + sen n · sen m · cos P ... sustituyendo valores... a = 6º,0125658
Después, aplicando de nuevo la segunda de Bessel sobre el lado n..... tenemos.....
cos n = cos m · cos a + sen m · sen a · cos α .....sustituyendo el cos α y hallando su arco coseno..... tenemos que el ángulo α = 173º,7338809. Para completar los elementos de este triángulo, se halla también el valor del ángulo γ mediante la primera de Bessel :
sen P / sen a = sen γ / sen m.... despejando sen γ y hallando su arcsen tenemos que ....
γ = 5º,3152461
Estos resultados nos demuestran que las dos estrella (γ , α) y el Polo no se encuentran en línea recta en el cielo y formando parte del mismo círculo máximo, pero sí que el ángulo α, en la figura anterior un poco distorsionado, tiene un valor cercano a 180º y por eso facilita en la práctica su alineación visual.
Por otro lado, como la separación angular entre las dos estrellas es a = 6º,0125658, vemos que si este lado largo de la Cruz lo prolongamos un poco menos de cinco veces, nos situaría sobre un punto cercano al Polo Sur, pero no en el mismo Polo.
¿Cómo se las apañarían los pilotos para precisar más su localización en el cielo ?. La respuesta podría llegar una vez que los pilotos hubieran medido ese día de navegación la altura del Sol en su culminación superior y, después de cotejar la declinación solar de ese día, deducir la latitud en la que se encontraban.

Sabiendo la latitud se sabe la altura del Polo Sur y por esto es lícito imaginar que, si se sigue el camino visual indicado por el brazo largo de la Cruz, tantas veces como se indicó anteriormente, y con la ayuda de la ballestilla fijamos la altura del Polo hallada ese día sobre el horizonte sur hasta intersecarse con dicho camino, podemos obtener el punto geográfico norte y por ende el lugar del Polo Sur.
Haciendo un análisis de todo lo tratado hasta ahora respecto a la búsqueda de la latitud por la que se navegaba y, conociendo todas las limitaciones y posibles errores que se podían producir cuando se basaba en la altura de los Polos, la solución y la exactitud venían de la mano del Sol, en su paso por el meridiano local al mediodía.

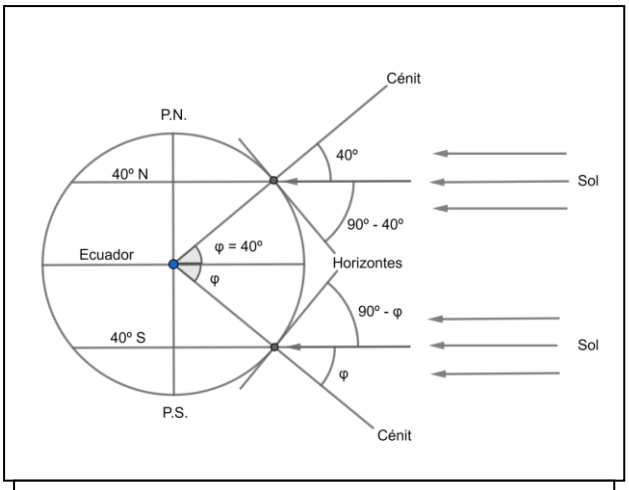
2º. La medida de la altura meridiana del Sol y la latitud geográfica.

*Pigafetta.
- Página 66 : ***" Después, a los 52 grados del mismo rumbo, encontramos en el día de las Once mil Vírgenes, un estrecho, cuyo cabo denominamos Cabo de las Once mil Vírgenes por un milagro grandísimo"***.

* AméricoVespuccio.
- Página 40, Tercer Viaje : ***" Viajamos tanto por estos mares, que entramos en la zona tórrida, y pasamos la línea equinoccial por el lado del austro, y del trópico de Capricor--nio; tanto que el polo del mediodía estaba arriba de mi horizonte cincuenta grados y otro tanto con mi latitud de la línea equinoccial, y navegamos cuatro meses, y veintisiete días, que nunca vimos el polo ártico, ni la Osa mayor, o Menor, por el contrario se me descubrieron por la parte del mediodía muchos cuerpos de estrellas muy claras, las cuales están siempre ocultas a los del septentrión "***.

* Francisco Albo, piloto de la nao Victoria.
- Febrero de 1520 : ***" A los 24 del dicho, tomé el Sol en 53º, tenía de declinación 5º 54', vino a ser la altura del polo [del lado] del Sur 42º 54', y el camino fue al Oesnoroeste, y estábamos en derecho de una bahía muy grande, a la cual pusimos nombre de la Bahía de San Matías, porque la hallamos en su día"***.
- Octubre de 1520 : " ***A los 21 del dicho, tomé el Sol en 52º limpios, a 5 leguas de tierra, y allí vimos una uberta [abertura] como bahía, y tiene a la entrada, a mano derecha, una punta de arena muy larga, y el cabo que descubrimos antes de esta punta se llama el Cabo de las Vírgenes, y la punta de arena está en 52º de altitud, y de longitud está 52º ½, y de la punta de arena a la otra parte habrá obra de 5 leguas"***.

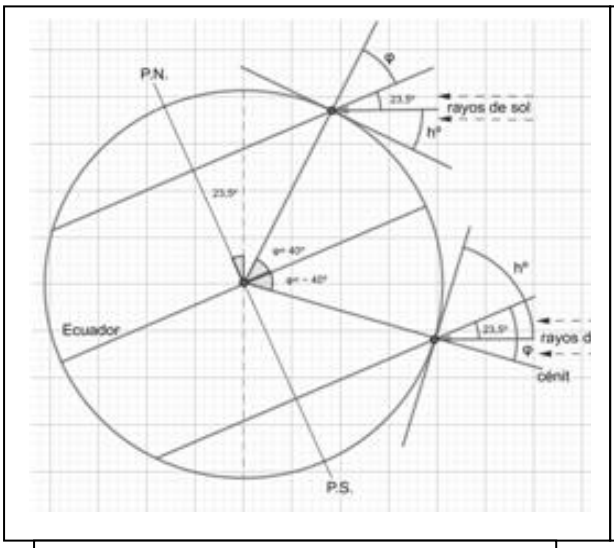
Tanto la cita de Pigafetta como la del piloto Albo se refieren a la entrada en el Estrecho de Magallanes.
La altura del Sol en las distintas estaciones
En este punto, por altura del Sol se entenderá siempre su culminación meridiana superior, que es cuando alcanza su máxima altura sobre el horizonte sur, en el Hemisferio Norte y sobre el horizonte norte en el Hemisferio Sur.
Durante los equinoccios de otoño y primavera el Sol recorre el Ecuador celeste y por consiguiente su declinación esos dos días del año es $\delta = 0º$. Tiene su orto por el punto cardinal este, y su ocaso por el oeste, en todos los puntos de la Tierra, y la duración del día es igual a la noche, excepto en los Polos.
En las latitudes templadas es el comienzo de la primavera en el Norte y del otoño, en el Sur, cuando el Sol pasa por el punto Aries, y al revés cuando lo hace por el punto Libra.



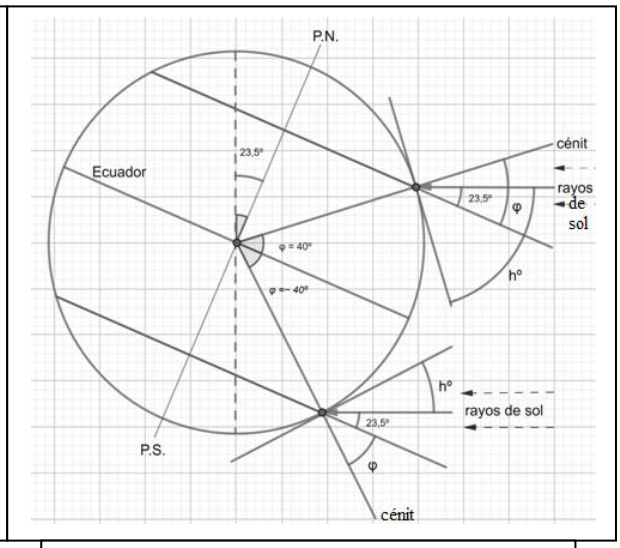
Altura meridiana del Sol en los equinoccios

Como se puede apreciar en la imagen de al lado, en esos momentos la altura meridiana del Sol es igual a.....
$h = 90º – | \varphi |$, o lo que es lo mismo, igual al complementario del valor absoluto de la latitud.
Para una latitud $\varphi = 40º$ Sur, la altura es $h = 90º – 40º = 50º$

En los solsticios de invierno y verano el Sol alcanza, respectivamente, su mínima y máxima declinación, $\delta = \pm 23º,439$ (J 2000) y $\delta = \pm 23º,501$ (1520).
En estas dos fechas se alcanzan las máximas disparidades entre la duración del día y de la noche y en las zonas de los círculos polares se producen las noches y días polares, en los que el Sol no sale o no se pone sobre el horizonte.



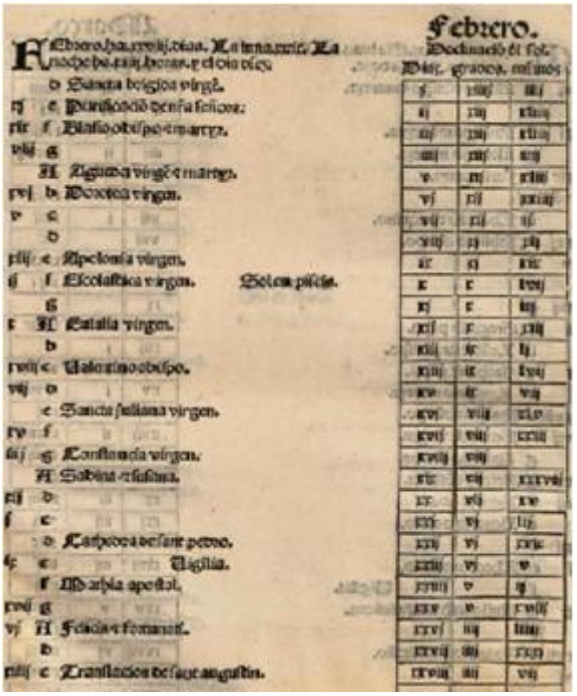
Invierno en el Norte, verano en el Sur



Verano en el Norte, invierno en el Sur

Si miramos en las imágenes de arriba, observamos la altura meridiana de Sol estos dos días del año en los dos Hemisferios, y para una latitud $\varphi = \pm 40º$ su altura es igual a:
$h = 90º – | \varphi | \pm \delta$ cogiendo el signo + para la altura del Sol en el Hemisferio Norte y el signo – para el Hemisferio Sur.
Por otro lado, ya sabemos que la declinación del Sol puede ser positiva o negativa, es decir, se mueve entre los valores siguientes..... $– 23º,439 < \delta < 23º,439$ (J 2000).
Como ejemplo de aplicación se va a hallar la latitud en la que se encontraba la expedición el día 24 de febrero de 1520, basándonos en las anotaciones dejadas por Francisco Albo.

Como $h = 90º - |\varphi| \pm \delta$, y estamos en el Hemisferio Sur, entonces..... $h = 90º - |\varphi| - \delta$...
y despejando $|\varphi|$ nos queda..... $|\varphi| = 90º - h - \delta$
Si tenemos en cuenta que Albo dice que la altura del Sol tomada fue $h = 53º$ y que la declinación del Sol ese día 24 de febrero era $\delta = -5º\ 54'$ ..sustituyendo este valor nos queda.....
$|\varphi| = 90º - 53º - (-5º\ 54') = 42º\ 54'$
Esta latitud nos lleva al actual Golfo Nuevo, al sur de la Península Valdés en Argentina, un poco más al sur de donde él dice estar, en la bahía de San Matías.
A la derecha se ve el cuadro de las declinaciones del Sol, publicadas en el año de 1519 en Sevilla por Martin Fernández de Enciso en su obra " Suma de Geographía " y que probablemente llevaba el piloto F. Albo.


Febrero.

El otro apunte del piloto recoge cuando estaban en la punta de arena que da entrada al Estrecho de Magallanes, el 21 de octubre de 1520 .
Realizando las mismas operaciones que cuando estaban en el Golfo Nuevo y consultada la declinación del Sol ese día, $\delta = -14º$ y $22'$, obtenemos una $\varphi = 52º\ 20'$ Sur , la cual es correcta, pero no lo es la longitud que da $\lambda = 52º{,}5$ Oeste, ya que este lugar tiene de longitud $\lambda = 68º\ 21'$.
Este error en la longitud nos pone en contacto con la dificultad que tenían en el siglo para medir la longitud en la que se encontraban y, como ya comenté antes, muchos intentaron encontrar la solución a este problema, como hicieron Colón y Vespucio, pero no lograron dar con el método preciso, como se verá más adelante.
Antes se va a intentar hacer una recreación del cielo que se pudo ver en el Estrecho de Magallanes, como ya dejé indicado al principio del trabajo, cuando enuncié los objetivos que se pretendían alcanzar en el mismo.
Aún cuando el tiempo que pasaron navegando por el Estrecho fue más de un mes, ya que ingresaron en él el 21 de octubre y lo abandonaron el 28 de noviembre, la fecha elegida es el 1 de noviembre de 1520, fecha en la que el piloto Albo cuenta que se hallaban en un lugar un poco más al oeste del Puerto del Hambre, enfrente del Faro Froward, y que es el punto más austral del continente suramericano.
<u>El cielo nocturno en el Estrecho de Magallanes.</u>

*<u>Pigafetta</u>
- Página 69 : ***" mientras permanecimos en aquel estrecho, eran las noches sólo tres horas y nos encontrábamos en octubre"***.
- Página 71 : ***" No está el Polo Antártico tan estrellado como el Ártico. Vense muchas estrelllas menudas agrupadas, que forman dos nebulosas no muy distantes entre sí ni tampoco con demasiado resplandor. En el espacio entre ambas surgen dos estrellas mayores, tampoco de gran brillo y muy quietas. Nuestra brújula se desviaba siempre con aquella proximidad del Polo Antártico, cuya atracción era de gran fuerza "***.

* Vespucio

- Página 51, Tercer viaje (1501 - 1502) . ***" Pues el mayor día que en aquella parte tuve, fue un 2 de diciembre y por el contrario la noche más larga un 2 de junio "***.

- Página 64, Tercer viaje : ***" El cielo está adornado de bellísimos signos y figuras, en los cuales yo he notado cerca de veinte estrellas de tanta claridad como algunas veces hemos visto a Venus y a Júpiter. Los movimientos y circuitos de ellas he considerado y he medido la circunferencia y el diámetro simplemente por métodos geométricos, y he conocido ser ellas de mayor magnitud. Vi en aquel cielo tres Canopes, dos verdaderamente claros y el otro oscuro. El polo antártico no está representado por la Osa mayor y menor, como nuestro ártico aparece, ni cerca de aquél se ve estrella alguna clara, y de éstas las que son impulsadas con breve órbita alrededor de aquél, tres son las que tienen la figura del triángulo ortogonal, de las cuales la que está en el medio tiene nueve grados y medio de circunferencia; y cuando éstas surgen por la izquierda se ve un Canope blanco de singular grandeza : cuando llegan a mitad del cielo tienen esta figura. Después de éstas vine otras dos, de las cuales la del medio tiene la circunferencia de doce grados y medio de diámetro y con ellas se ve otro Canope blanco. Y a éste seguían otras seis estrellas bellísimas y clarísimas entre todas las otras de la octava esfera, de las cuales, en la superficie del firmamento, la del medio tiene la circunferencia de treinta y dos grados de diámetro; y con ellas va un Canope negro de una gran magnitud, y si se ven en la Vía Láctea, cuando están en la línea equinoccial, tienen esta figura "***.

En las citas anteriores, los dos marinos nos indican la duración del día y la noche en su relación con las estaciones del año que se dan en las zonas templadas del Hemisferio Sur, pero invertidas respecto a nuestro calendario, en función de las respectivas alturas que el Sol alcanza sobre el horizonte, como se puede ver en las figuras que representan la altura solar en los dos Hemisferios. También describen el cielo que se puede ver, de forma breve en el caso de Pigafetta, y con más detalle por Vespucio.

Duración de los crepúsculos en el Estrecho de Magallanes

A pesar de que Pigafetta nos menciona en su libro que la latitud del Estrecho, desde el Cabo de las Once Mil Vírgenes, a la entrada, hasta el Cabo Deseado a la salida de él, es casi siempre de 52º, yo voy a realizar los cálculos para una latitud de $\varphi = 53º,923238$ S (al sur del Faro Froward) y para una declinación del Sol igual a $\delta = -17º, 3851$, la correspondiente a aquel día 1 de noviembre de 1.520 en el calendario juliano, entre el 9 y el 10 del gregoriano. Así mismo, solo se van a realizar los cálculos temporales para los crepúsculos náutico y astronómico, correspondientes respectivamente a una altura del Sol por debajo del horizonte de $h = -12º$ y $h = -18º$. El primero deja ver ya las principales estrellas del cielo y el segundo deja ver todas las visibles a simple vista.

El método a seguir es igual al usado para hallar el crepúsculo náutico del día 17 de septiembre de 1492. Primero se halla con la ecuación (5) $\cos (H) = - \text{tag}\, \varphi \cdot \text{tag}\, \delta$ el ángulo horario del Sol al orto/ocaso y luego con la (6) $\cos H' = (\text{sen}\, h - \text{sen}\, \delta \cdot \text{sen}\, \varphi) /(\cos \delta \cdot \cos \varphi)$ el correspondiente H' cuando se localiza el Sol con los respectivos grados anteriormente dichos por debajo del horizonte. El ΔH resultante entre esos dos momentos nos dará, al dividirlo entre 15, la duración media de los correspondientes crepúsculos, siendo esta duración igual para los matutinos que para los vespertinos.

Conocida la hora local del orto/ocaso del Sol y la duración de los crepúsculos ya se puede deducir la duración del día y de la noche e interpretar las palabras de nuestros relatores. Los resultados obtenidos se recogen abajo en el siguiente cuadro:

Crepúsculo	H al orto	H al ocaso	H' al orto	H' al ocaso	ΔH = H – H'	Noche = Δ H'
Náutico	244º,549763	115º,450236	216º,898752	143º,101247	27º,651011	73º7975044
	4h 18m 12s	19h 41m 48s	2h 27m 36s	21h 32m 24s	1h 50m 36s	4h 55m 11s
Astronó-mico.	244º,54976	115º,45023	191º,589902	168º,410097	52º,959860	23º,179805
	4h 18m 12s	19h 41m 48s	0h 46m 21s	23h 13m 38s	3h 31m 50s	1h 32m 43s
h = – 15º	244º,549763	115º,450236	207º,090870	152º,909129	37º,458893	54º,181740
	4h 18m 12s	19h 41m 48s	1h 48m 22s	22h 11m 38s	2h 29m 50s	3h 36m 44s

Aunque en el cuadro solo se mide la duración de la noche en función de los diferentes crepúsculos, y del momento intermedio entre los dos (entre el astronómico y el náutico); entonces para saber la duración del día, se le restaría a 24 horas las horas de la noche.
De los resultados deduzco que cuando Pigafetta dice que las noches eran solo de tres horas, se refería al intervalo comprendido entre cuando el Sol, después del ocaso, se encontraba alrededor de 15º por debajo del horizonte y también cuando se encontraba a estos mismos grados antes del orto. Es entonces cuando las noches se aproximaban a unas tres horas. Señalar que la duración de la noche entre crepúsculos astronómicos sería mucho menor y si es entre los náuticos se hace mucho mayor.
Respecto a lo dicho por Vespucio, hay que tener en cuenta que los dos días que menciona en su cita, realmente se debe entender unos diez días más tarde, dado el retraso acumulado entre calendarios, con lo que ya nos estamos aproximando a los solsticios de verano y de invierno, aunque advierto aún un pequeño error en su afirmación, originado posiblemente porque el Sol en esos días " se sostiene " durante esos dos periodos del año y las diferencias de declinación diarias son mínimas y difíciles de cuantificar.

Astros del Sistema Solar visibles en la fecha elegida

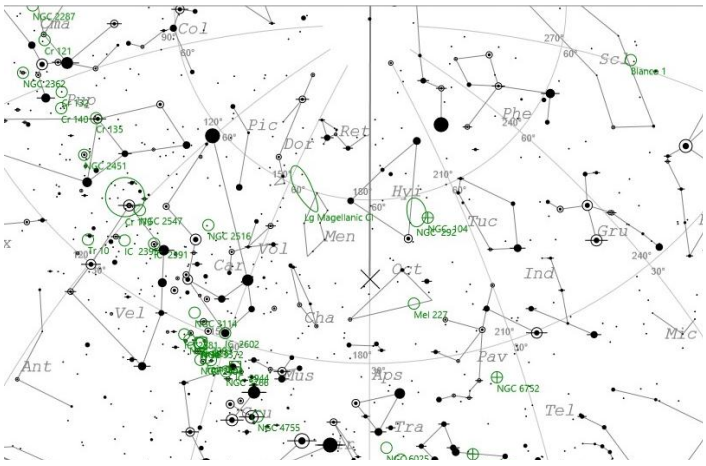
En este apartado no se pretende tanto el dar para estos astros unos datos empíricos de sus coordenadas ecuatoriales geocéntricas (α, δ) y de las horizontales (A, h), como que esos datos nos permitan colocar sobre el planisferio celeste diseñado por mí para la latitud del Estrecho, dónde se encontraban sobre la esfera celeste el Sol, la Luna y los cinco planetas visibles el día 1 de noviembre de 1520 a las 0h de tiempo local, la cual corresponde a las 4h 45m 8s de TU, obtenido de dividir la longitud del lugar(λ), entre los 15º que corresponden a cada hora. El acimut A, como siempre, se cuenta desde el sur.

Cuerpo celeste	Asc. recta, α	Declinación, δ	Acimut, A	Altura, h
Sol	15h 4m 12s	– 17º 23' 6"	356º 7' 2"	– 18º 3' 0"
Luna	8h 40m 38s	23º 50' 25"	248º 3' 35"	– 13º 58' 1"
Mercurio	13h 52m 27s	– 9º 7' 22"	336º 16' 49"	– 23º 44' 51"
Venus	15h 23m 23s	– 18º 18' 14"	0º 56' 13"	– 17º 12' 10"
Marte	8h 46m 33s	19º 59' 34"	251º 31' 57"	– 10º 46' 54"
Júpiter	15h 50m 38s	– 19º 32' 3"	7º 36' 29"	– 15º 40' 23"
Saturno	20h 2m 18s	– 21º 8' 17"	62º 18' 39"	6º 25' 41"

Una vez estén dispuestos sobre el planisferio los astros presentes en el cielo en esa fecha, pegando un pequeño círculo de color identificativo para cada uno de ellos en el punto que indican sus coordenadas ecuatoriales, y haciendo uso después de las posibilidades didácticas de

este recurso astronómico, podemos entonces simular sus movimientos diurnos, calcular sus ortos y ocasos aproximados, predecir sus culminaciones meridianas, sus acimuts, alturas y por supuesto, saber las constelaciones visibles en cada momento de la noche en cada uno de los puntos cardinales sobre el horizonte local.

El cielo en el Hemisferio Sur



A la derecha se pueden ver una fotografía y un mapa estelar de la región del Polo Sur. En la foto se puede apreciar con claridad las dos nebulosas que cita Pigafetta, las mismas que Vespucio denomina Canopes, literalmente " tres Canopes, dos verdaderamente claros y el otro oscuro ". En ambos casos se refieren a las dos Nubes de Magallanes, la Pequeña y la Grande, y a la nebulosa oscura conocida como Saco de Carbón, situada esta última entre las estrellas α y β de la Cruz del Sur.

Las dos estrellas que Pigafetta dice que hay entre ambas galaxias son las estrellas γ y β de la Hidra Austral, también mencionadas por Vespucio como el " triángulo ortogonal ".

Las otras seis estrellas que cita parecen corresponder a las estrellas de primera magnitud, pertenecientes a las α y β de las constelaciones de Carina, la Cruz del Sur y el Centauro, aunque existe alguna duda, pues cita que " las dos que están en el medio tienen una circunferencia de 9º,5 y 12º,5 ", y este radio angular nos lleva otra vez a la Hidra o al Camaleón, cercanos a la Gran Nube de Magallanes.

El problema de hallar la longitud geográfica

*Cristóbal Colón.

- Página 212. Relación del cuarto viaje : ***"Lo que yo sé es que el año de 94 navegué en 24 grados al Poniente en término de 9 horas, y no pudo haber yerro porque uvo eclipses : el sol estava en Libra y la luna en Ariete. También esto que yo supe por palabra avíalo yo sabido largo por escrito "***.

- Domingo, 13 de enero, (Primer viaje) : ***" Quisiera salir por ir a otro mejor puerto, porque aquel era algo descubierto, y porque quería ver en qué parava la conjunción de la luna con el sol, qu' esperava a 17 d'este mes, y la opposición d'ella con Júpiter y, conjunción con Mercurio y el sol en opposito con Júpiter, que es causa de grandes vientos "***.

- Libro de las Profecías, folio 76 : ***" El año de 1494, estando yo en la isla de Saona, que es el cabo oriental de la isla Española, hubo eclipses de luna a 14 de septiembre y se halló que había diferencia de allí al cabo de San Vicente en Portugal cinco horas y más de media "***.

- Libro de las Profecías, folio 76 : ***" Estando yo en las Indias, en la isla de Jamaica (...) hubo eclipses de luna, y porque el comienzo fue primero que el Sol se pusiese no pude***

notar salvo el término de cuando la Luna acabó de volver a su claridad (...)La diferencia del medio de la isla de Jamaica en las Indias, con la isla de Calis, en España, es siete horas y quince minutos de hora ".

*Hernando Colón

- Capítulo LX, página 196 (Segundo viaje de Colón) : ***" A 15 de Septiembre Dios le concedió ver una isla que está en la parte meridional de la Española, y cercana a ésta, que los indios llaman Adamaney; con gran tormenta dio fondo en el canal que hay entre ésta y la Española, cerca de una islilla que está entre las dos; donde aquella noche vio el eclipse de la luna, del cual dice que la diferencia, entre Cádiz y aquel paraje donde estaba, era de cinco horas y veintitrés minutos. Por tal motivo creo que durase tanto el mal tiempo, pues hasta el 20 del mes fue obligado a permanecer en el mismo puerto "***.

- Capítulo CIII, página 336, (Cuarto viaje de Colón) : ***" Acordose de que al tercer día había de haber un eclipse de luna, al comienzo de la noche, y mandó que un indio de la Española que estaba con nosotros, llamase a los indios principales de la provincia, diciendo que quería hablar con ellos en una fiesta que había determinado hacerles. Habiendo llegado el día antes del eclipse los caciques, les dijo por el intérprete, que nosotros éramos cristianos y creíamos en Dios, que habita en el cielo y nos tiene por súbditos, el cual cuida de los buenos y castiga a los malos, y que habiendo visto la rebelión de los cristianos, no les había dejado pasar a la Española, como pasaron Diego Méndez y Fiesco, y habían padecido los peligros y trabajos que eran notorios en la isla; que igualmente, en lo que tocaba a los indios, viendo Dios el poco cuidado que tenían de traer bastimentos, por nuestra paga y rescate, estaba irritado contra ellos, y tenía resuelto enviarles una grandísima hambre y peste. Como ellos quizá no le darían crédito, quería mostrarles una evidente señal del cielo, para que más claramente conociesen el castigo que les vendría de su mano. Por tanto, que estuviesen aquella noche con gran atención al salir la luna, y la verían aparecer llena de ira, inflamada, denotando el mal que quería Dios enviarles.***

Acabado el razonamiento se fueron los indios, unos con miedo, y otros creyendo sería cosa vana.

Pero comenzando el eclipse al salir la luna, cuanto más ésta subía, aquél se aumentaba, y como tenían grande atención a ello los indios, les causó tan enorme asombro y miedo, que con fuertes alarido y gritos iban corriendo, de todas partes, a los navíos, cargados de vituallas, suplicando al Almirante rogase a Dios con fervor para que no ejecutase su ira contra ellos, prometiendo que en adelante le traerían con suma diligencia todo cuanto necesitase. El Almirante les dijo que quería hablar un poco con su Dios; se encerró en tanto que el eclipse crecía y los indios gritaban que les ayudase.

Cuando el Almirante vio acabarse la creciente del eclipse, y que pronto volvería a disminuir, salió de su cámara diciendo que ya había suplicado a su Dios, y hecho oración por ellos; que le había prometido en nombre de los indios, que serían buenos en adelante y tratarían bien a los cristianos, llevándoles bastimentos y las cosas necesarias; que Dios los perdonaba, y en señal del perdón, verían que se pasaba la ira y encendimiento de la luna. Como el efecto correspondía a sus palabras, los indios daban muchas gracias al Almirante, alababan a su Dios, y así estuvieron hasta que pasó el eclipse".

*Pigafetta.

- Página 72 : ***" Singlábamos esos días entre poniente y mistral y a la cuarta del mistral cargando entre él y el primer viento: todo, hasta que alcanzásemos el ecuador 125 grados largos de la línea de repartición "***.

- Página 108 : ***" Está en los 10 grados de latitud del Polo Artico, en los 164 de longitud de la línea de partición, y se llama Zubu "***.

* Américo Vespuccio

- Página 17, Segundo viaje (1499 - 1520) : *" En cuanto a la longitud, digo que para conocerla encontré tanta dificultad que tuve grandísimo trabajo en hallar con seguridad el camino, que había recorrido siguiendo la línea de la longitud, y tanto trabajé que al fin no encontré mejor cosa que observar y ver de noche la oposición de un planeta con otro, y el movimiento de la Luna con los otros planetas porque el planeta de la Luna es más rápido en su curso que ningún otro, y lo comprobaba con el Almanaque de Giovanni de Monteregio, que fue compuesto según el meridiano de la ciudad de Ferrara, concordándolo con las Tablas del Rey Don Alfonso: y después de muchas noches que estuve en observación, una noche entre otras, estando al veintitrés de agosto de 1499, en que hubo conjunción de la Luna con Marte, la cual según el Almanaque debía producirse a media noche o media hora antes: hallé que al salir la Luna en nuestro horizonte, que fue una hora y media después de puesto el Sol, el planeta había pasado a la parte de oriente, digo, que la Luna se hallaba más oriental que Marte cerca de un grado y algún minuto más, y a la media noche se hallaba más al oriente quince grados y medio, poco más o menos, de modo que hecha la proporción, si veinticuatro horas me valen trescientos sesenta grados, ¿ qué me valdrán cinco horas y media ?, encuentro que me valen ochenta y dos grados y medio, y tan distante que me hallaba en longitud del meridiano de la ciudad de Cádiz, que asignando a cada grado dieciséis leguas me encontraba mil trescientas sesenta y seis leguas y dos tercios más al occidente que la ciudad de Cádiz, que son quince mil cuatrocientos sesenta y seis millas y dos tercios "*.

Página 49, Tercer viaje (1501 - 1502) : *" como he dicho, tanto he navegado por tierra y por mar que me han valido noventa y dos grados de longitud y me he encontrado con diversos meridianos, y el más distante con el que me he encontrado en la parte de occidente ha sido diferente del meridiano de esta ciudad de Portugal de cinco horas y un tercio y del meridiano de Ferrara cerca de ocho horas. entiende de la hora equinoccial. Para dar brevemente razones a esto que digo y para justificarme de los dichos de los malévolos, digo haberlo conocido en los eclipses y en las conjunciones de la luna con los planetas; y he perdido mucho sueño de noche en ponerme de acuerdo con los sabios que han compuesto los instrumentos y escrito sobre los movimientos y conjunciones y aspecto de los eclipses de las dos luminarias y de las estrellas errantes, como fue el sabio rey don Alfonso en sus tablas y Giovanni de Monteregio en su Almanaque, por el Bianchino, y por el Almanaque del rabí Zacuti judio, que es perpetuo, y compuestos en diversos meridianos, y el rey don Alfonso en Toledo y Giovanni de Monteregio en el meridiano de Ferrara, y los otros dos en el de Salamanca. Y es cierto que me he encontrado tan al occidente, no deshabitado sino pobladísimo, diferente del meridiano de Alejandría ciento cincuenta grados, que son ocho horas de la hora equinoccial "*.

Colón y los eclipses de luna.

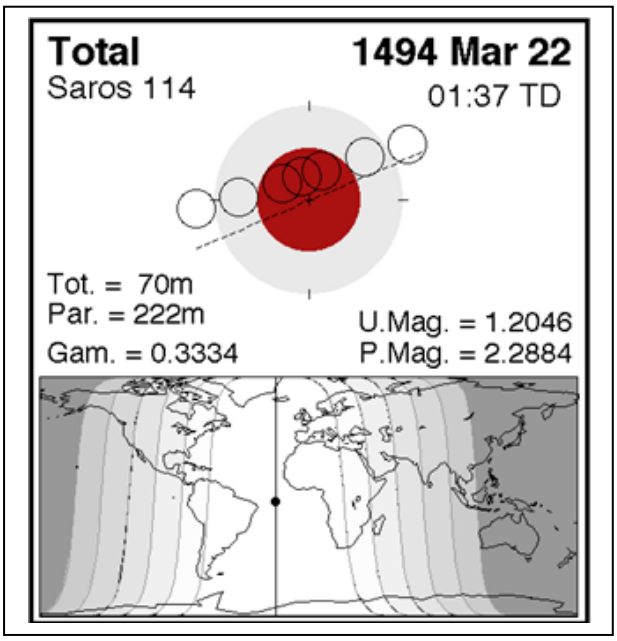
Es difícil hacer una valoración de las citas dadas por el Almirante sobre los eclipses de luna y las posiciones de los planetas en el cielo vistos por él durante su segundo viaje a las Indias (1493 - 1494). Más credibilidad tiene lo narrado por su hijo Hernando cuando nos relata las circunstancias que rodearon a dos eclipses de luna ocurridos, el primero de ellos el 15 de septiembre de 1494 y el segundo el 29 de febrero de 1504, durante su cuarto y último viaje (1502 - 1504).

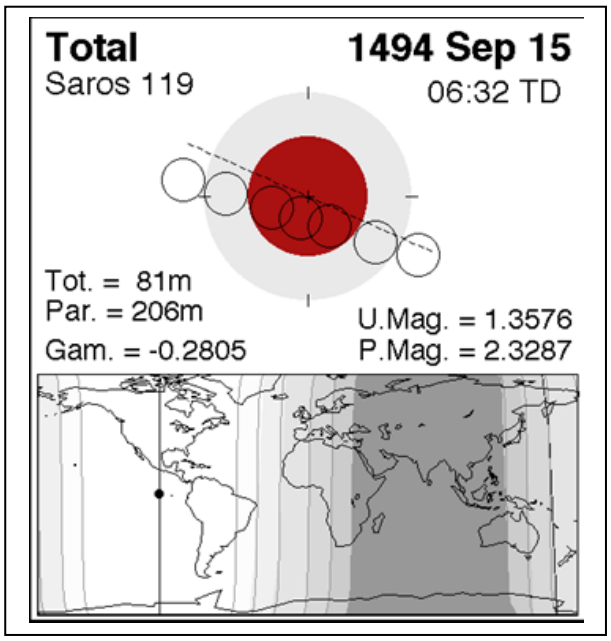
Los datos aportados por Colón pecan de vaguedad y, en cierta medida, de una visión partidista e interesada de los mismos, en aras de hacer valer, en un futuro, lo pactado en las Capitulaciones de Santa Fe con los Reyes Católicos.

Sobre el eclipse de 1494 flotan latentes una serie de dudas. La primera es respecto al tiempo meteorológico que pudo acompañar al mismo, según se desprende de las afirmaciones de Hernando sobre la tormenta que hubo ese día en las costas de la isla de Saona, isla separada muy pocos kilómetros de la costa sureste de la Española y lugar donde desembarcó y presumiblemente vio el suceso astronómico esa noche. Además, para añadir mayor confusión al suceso, Hernando nos dice que el mal tiempo siguió durante muchos días más. Si a esta adversidad meteorológica añadimos los resultados obtenidos por él de la longitud geográfica en la que se encontraba, sin decirnos ni el método ni las circunstancias que rodearon al eclipse, junto con los distintos meridianos de referencia tomados para medir esta longitud (Cádiz y San Vicente); entonces las citas del Almirante hechas en su Diario y en su postrer libro de las Profecías, además de la realizada por su hijo Hernando resultan confusas, haciéndose necesarias otras posibles interpretaciones de todas estas anotaciones registradas en los distintos textos.

Antes de entrar en detalle sobre cada uno de los eclipses, es importante conocer una serie de cuestiones sobre las que basar este análisis.

- En el año de 1494 hubo dos eclipses de luna, ambos visibles desde la Isla de la Española (Santo Domingo). El primero, el 22 de marzo, lo observó desde la ciudad de la Isabela, fundada el año anterior sobre el mismo lugar donde se asentaba el Fuerte de Navidad, construído durante el primer viaje; el segundo fue el del 15 de septiembre (el día 14 para Colón) desde la isla de Saona.



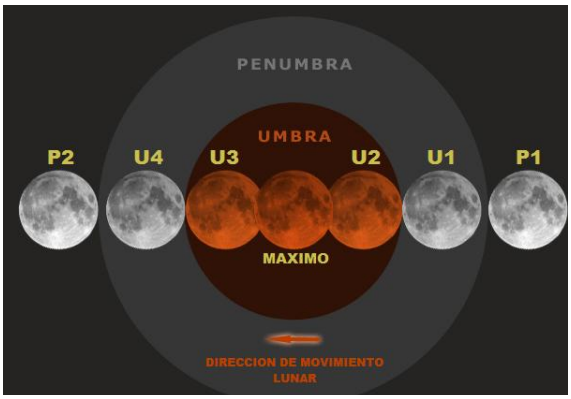


- Las coordenadas geográficas de los lugares de observación son :
  Isabela : φ = 19º,8874 Norte..... λ = 71º,0832 Oeste = 4 h 44 m 20 s
  Saona : φ = 18º,1555 Norte..... λ = 68º,6994 Oeste = 4 h 34 m 48 s
- Los tiempos universales y locales del momento del máximo eclipse (cuyo meridiano se da, así como el punto sobre la Tierra donde la Luna estaría en el cenit), teniendo en cuenta la corrección $\Delta T = TD - TU$ fueron:

TU = TD – ΔT = 1 h 37 m 17 s – 3 m 22 s = 1 h 33 m 55 s y el tiempo local en Isabela era...
... TL = TU – λ = 25 h 33 m 55 s – 4 h 44 m 20 s = 20 h 49 m 35 s. Como la fase de totalidad duró 70 m, entonces el eclipse total comenzó 35 m. antes, a las 20 h 14 m 35 s y finalizó a las 21 h 24 m 35 s.

Los tiempos correspondientes para la isla de Saona, siguiendo los mismos pasos son ...

TU = TD – ΔT = 6 h 32 m 25 s – 3 m 21 s = 6 h 29 m 4 s y el tiempo local fue.....
TL = TU – λ = 6 h 29 m 4 s – 4 h 34 m 48 s = 1 h 54 m 16 s. Como la fase de totalidad duró 81 m. entonces el eclipse total comenzó a las 1 h 13 m 46 s y finalizó a las 2 h 34 m y 46 s
- Según se puede ver en la figura de abajo sobre las fases de los eclipses de luna, es durante la fase de totalidad cuando se hace más ostensible y notorio el eclipse para un observador, siendo el momento ideal para poder registrar la hora local en la que se produce y, si se sabe la hora local de ese mismo momento en otro meridiano, entonces la diferencia de tiempos entre los dos lugares se puede transformar también en diferencia de longitudes.



- Como se puede apreciar en el mapa que representa el segundo viaje de Colón, la máxima longitud occidental en la que el Almirante se encontró en este viaje fue de unos 83º Oeste, cuando navegó por el oeste de la isla de Cuba.
- Es preciso no olvidar que, con toda probabilidad, también llevaba en su poder el mapa de Toscanelli con la representación del mundo que en ese momento se tenía.
- Que su comentario de haber navegado hacia el poniente por el paralelo 24º y en término de nueve horas nos situaría en una longitud de 135º oeste, correspondiente hoy en día a un punto en el Pacífico, intermedio entre la Baja California y las islas Hawai.

Si miramos en el mapa de Toscanelli, cuyo meridiano de referencia 0º está en el cabo de San Vicente (unos 10º de longitud al oeste de Greenwich), entonces sobre ese mapa esa longitud de 135º nos colocaría directamente en las islas enfrente de Catay, el objetivo último de su primer viaje y que él creyó siempre haber alcanzado.

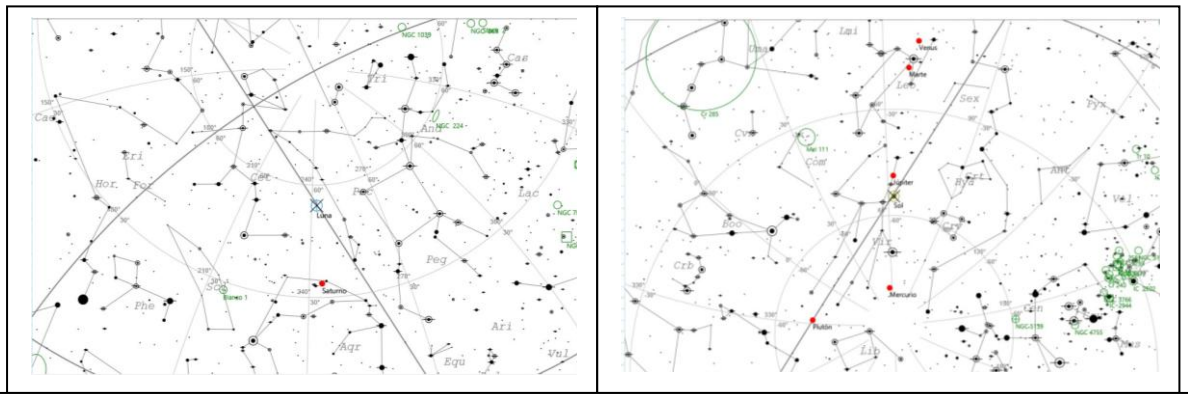
Por tanto, la exageración e intencionalidad de la cita van de la mano y se justifican mutuamente.

- Que siendo las coordenadas geográficas de la ciudad de Cádiz, latitud (φ) = 36º,535 Norte y longitud (λ) = 6º,2975 Oeste y las del cabo de San Vicente, φ = 37º,0125 y λ = = 8º,9944; entonces la diferencia en longitud entre esta ciudad y la isla Saona es igual a Δ λ = 68º,6994 – 6º,2975 = 62º,4019 = 4 h 9 m 36,4 s. y con respecto al cabo de San Vicente es igual a Δ λ = 68º,6994 – 8º,9944 = 59º,705 = 3 h 58 m 49,2 s.
- Que según el programa Efemérides Astronómicas. dyn, el Sol se encontraba en Piscis y la Luna en Virgo durante el eclipse del 22 de marzo, y viceversa en el del 15 de septiembre. Las coordenadas del Sol y la Luna en el momento del máximo eclipse en la isla de Saona fueron :

Astro	Ecuatoriales geoc.	Ecuatoriales topoc.	Eclípticas	Horizontales
Sol	α = 180º, 944333 δ = – 0º,410638	α' = 180º,945416 δ' = – 0º,411361 H = 210º,587541	L = 178º,970255 B = 0º,000042	A = 242º,787888 h = – 54º,531333

Luna	α = 1º,031666 δ = 0º,142027	α' = 0º,538958 δ' = – 0º,172444 H = 30º,994	L = 1º,002648 B = – 0º,281197	A = 62º,313361 h = 54º,453222

Las coordenadas eclípticas (L , B) se han obtenido a partir de las ecuatoriales (α , δ) por medio de las siguientes expresiones:
Para la latitud eclíptica B : sen B = – sen ε · cos δ · sen α + cos ε · sen δ
Para la longitud eclíptica L : cos B · sen L = cos ε · cos δ · sen α + sen ε · sen δ... y .....
cos δ · cos α = cos B · cos L.... en las que los signos de sen L y cos L nos indican el verdadero valor de la longitud eclíptica L , mientras que ε es la inclinación de la Eclíptica.
Viendo los valores obtenidos para las coordenadas eclípticas y las horizontales deducimos que la Luna y el Sol se encontraban en puntos opuestos de la Eclíptica sobre el cielo del horizonte local, como era lógico suponer.
La tarde del 14, la Luna había salido por el este, a las 17 h 41 m 48 s, mientras que el Sol, con una altura de 2º,598, se iba a poner por el oeste. En los cuadros de abajo se ven a la Luna y al Sol el 15 de septiembre, en el momento del máximo eclipse que se produjo a la 1 h y 54 m, hora local en la isla de Saona . En ese momento, el Sol se encontraba por debajo del horizonte suroeste, en la constelación de Virgo, con una altura h = – 54º,5 y la Luna se hallaba en la de Piscis, sobre el horizonte noreste, con una altura igual a la del Sol, pero positiva.
Como la fase de totalidad duró 81 m, entonces el eclipse total comenzó a la 1h y 13 m y finalizó a las 2 h 34 m .

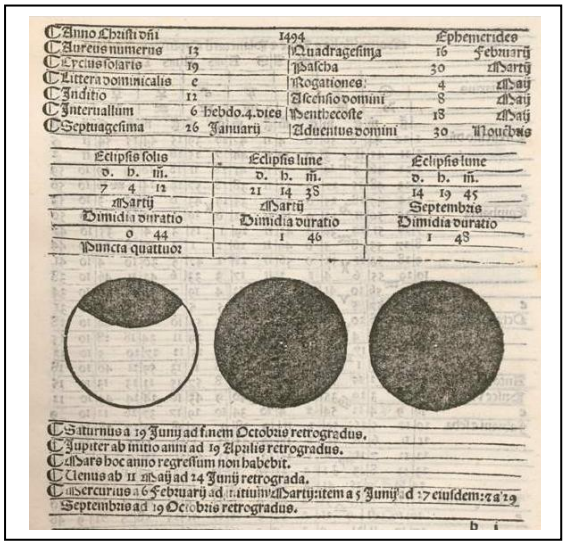


Localización del Sol y la Luna el 15 de septiembre de 1494 en el instante del máximo eclipse

- Todos los marinos de esta época, y Colón entre ellos, llevaban en sus viajes unas tablas astronómicas que les facilitaban la navegación oceánica. En el caso colombino, probablemente las que llevaba en este segundo viaje eran las elaboradas por Johann Müller Regiomontano, astrónomo, matemático, constructor de relojes solares y, sobre todo, quien elaboró unas Efemérides astronómicas para los años comprendidos entre 1475 y 1506.
Estas efemérides recogen las posiciones diarias del Sol y la Luna en su culminación superior y las posiciones medias de los planetas, expresadas en grados y minutos. También describen sus posiciones relativas con respecto al Sol, mediante los aspectos astrológicos de uso en la Edad Media, tales como " trinus, Δ ", " Cuartius, ◻ ", y " Sixtilis, * ", correspondientes respectivamente a separaciones angulares de 120º, 90º y 60º.
Así mismo, para cada año en curso da el calendario de fiestas religiosas y los días y momentos en los que se producen los eclipses de sol y de luna. El meridiano de referencia para él era el correspondiente a la ciudad de Nuremberg, cuyas coordenadas geográficas son :
φ = 49º,4527777 Norte y λ = 11º,077777 Este, igual en tiempo a 0h 44 m 18 s.

Con objeto de facilitar las posibles correcciones a realizar en los datos presenta las latitudes de numerosas ciudades europeas más.
Estos Calendarios y Efemérides fueron publicados en el año 1474 y eran de uso habitual en los grandes viajes.
Es posible también que Colón conociera o llevara las Tablas que el astrónomo judío Abraham Zacuti había elaborado entre los años de 1473 y 1476 en Salamanca y referidas a este meridiano de referencia.
Estas Tablas mejoraban y corregían los errores de las anteriores Tablas Alfonsinas, elaboradas en la corte toledana del rey Alfonso X el Sabio a mediados del siglo XIII y que tuvieron una amplia difusión durante la Baja Edad Media en toda Europa Occidental.
Colón pudo tener acceso al Almanaque Perpetuo de Zacuti durante el año de 1484, cuando se encontraba en la corte lisboeta presentando su proyecto al rey Juan II y coincidió allí con el astrónomo José Vizinho, quien tradujo el Almanaque del hebreo al latín ese mismo año. Zacuto, que había sido llamado para asesorar a los navegantes portugueses empeñados en ese momento en doblar África y retomar así el camino hacia las islas de las Especias, pudo a su vez haberse basado en Regiomontano para hacer su Almanaque.
Estas Tablas daban directamente las posiciones del Sol, la Luna y los planetas visibles para el periodo comprendido entre 1473 y 1476, además de la declinación solar diaria, mientras que para otros años había que realizar sencillas interpolaciones para conseguir esos mismos datos astronómicos. También informaban de los tiempos de eclipses y de las conjunciones y oposiciones entre esos astros.
Como en este calendario cada planeta estaba registrado por separado, era complicado realizar una determinada configuración planetaria, función que si cumplía más satisfactoriamente las Efemérides de Regiomontano.
Son muchos los autores que piensan que Colón no pudo usar en sus dos primeros viajes las Tablas de Zacuti, puesto que fueron publicadas en 1496 y por consiguiente no pudo utilizarlas en el eclipse del 14 de septiembre de 1494, en la isla de Saona, pero sí pudo haberlas usado para el del 29 de febrero del 1504 en Jamaica.

- Que la utilización de todas estas Tablas, Calendarios y Efemérides queda atestiguado por el reconocimiento expreso que hace también de su uso Américo Vespucio al hablar de sus viajes. Todos ellos coinciden en su importancia a la hora de saber el momento en el que se producían los eclipses de luna y su posterior aplicación en el cálculo de la longitud geográfica.
- Este cálculo de la longitud geográfica conlleva siempre unos errores en la medida, consecuencia directa del meridiano que se elija como referencia, de los errores propios presentes en las Tablas, del momento de la fase del eclipse que se tome como referencia (su comienzo, el máximo o el final) y del cómputo del tiempo realizado con instrumentos tan poco precisos como eran los relojes de arena, por lo que algunos observadores se ayudaban en la medición de esferas armilares y astrolabios, registrando las culminaciones superiores de algunas estrellas conocidas.
- Como se puede apreciar en las figuras de abajo, correspondientes a las Efemérides de Regiomontano para el mes de septiembre de 1494, el día 15 el Sol se encontraba en la constelación de Libra y la Luna en la de Aries. Esta constatación y las palabras del Almirante de que esta disposición lo había sabido " largo por escrito ", nos hace pensar en la posible manipulación de la realidad del cielo visto esa noche y en la asunción directa y sin problemas de lo que aparecía en las Efemérides que él llevaba.

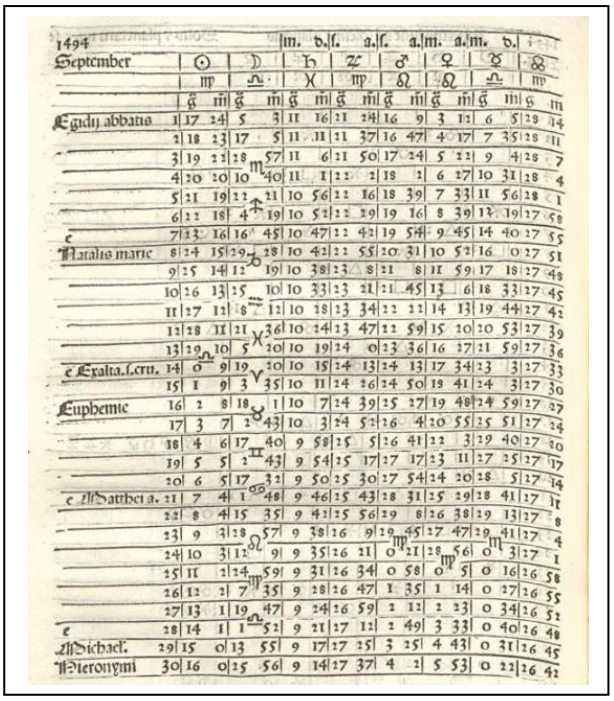


Anno Christi dñi		1494		Ephemerides	
Aureus numerus	13	Quadragesima	16	Februarij	
Cyclus solaris	19	Pascha	30	Martij	
Littera dominicalis	e	Rogationes	4	Maij	
Indictio	12	Ascensio domini	8	Maij	
Interuallum	6 hebdo. 4. dies	Pentecoste	18	Maij	
Septuagesima	26 Januarij	Aduentus domini	30	Nouembris	

Eclipsis solis	Eclipsis lune	Eclipsis lune
d. h. m.	d. h. m.	d. h. m.
7 4 12	21 14 38	14 19 45
Martij	Martij	Septembris
Dimidia duratio	Dimidia duratio	Dimidia duratio
0 44	1 46	1 48

Puncta quattuor

Saturnus a 19 Junij ad finem Octobris retrogradus.
Jupiter ab initio anni ad 19 Aprilis retrogradus.
Mars hoc anno regressum non habebit.
Venus ab 11 Maij ad 24 Junij retrograda.
Mercurius a 6 Februarij ad initium Martij: item a 5 Junij ad 17 eiusdem: et a 19 Septembris ad 19 Octobris retrogradus.



1494 September	☉	☽	♄	♃	♂	♀	☿	☊
	♍	♎	♑	♍	♌	♌	♎	♍
	g m	g m	g m	g m	g m	g m	g m	g m
Egidij abbatis	1 17 24	5 3	11 16	21 24	16 9	3 12	6 5	29 14
	2 18 23	17 5	11 11	21 37	16 47	4 17	7 35	28 11
	3 19 22	28 ♏ 57	11 6	21 50	17 24	5 22	9 4	28 7
	4 20 20	10 40	11 1	22 2	18 2	6 27	10 31	28 4
	5 21 19	22 21	10 56	22 16	18 39	7 33	11 56	28 1
	6 22 18	4 ♐ 19	10 52	22 29	19 16	8 39	13 19	27 58
e	7 23 16	16 45	10 47	22 42	19 54	9 45	14 40	27 55
Natalis marie	8 24 15	29 ♑ 28	10 42	22 55	20 31	10 52	16 0	27 51
	9 25 14	12 19	10 38	23 8	21 8	11 59	17 18	27 48
	10 26 13	25 10	10 33	23 21	21 45	13 6	18 33	27 45
	11 27 12	8 ♒ 12	10 28	23 34	22 22	14 13	19 44	27 42
	12 28 11	21 36	10 24	23 47	22 59	15 20	20 53	27 39
	13 29 ♎ 10	5 ♓ 20	10 19	24 0	23 36	16 27	21 59	27 36
e Exalta. s. cru.	14 0	9 19	10 15	24 13	24 13	17 34	23 3	27 33
	15 1	9 3 ♈ 35	10 11	24 26	24 50	18 41	24 3	27 30
Euphemie	16 2	8 18	10 7	24 39	25 27	19 48	24 59	27 27
	17 3	7 2 ♉ 43	10 3	24 52	26 4	20 55	25 51	27 24
	18 4	6 17 40	9 58	25 5	26 41	22 3	29 40	27 20
	19 5	5 2 ♊ 43	9 54	25 17	27 17	23 11	27 25	27 17
	20 6	5 17 32	9 50	25 30	27 54	24 20	28 5	27 14
e Matthei a.	21 7	4 1 ♋ 48	9 46	25 43	28 31	25 29	28 41	27 11
	22 8	4 15 35	9 42	25 56	29 8	26 38	29 13	27 8
	23 9	3 28	57	9 38	26 9	29 ♍ 45	27 47	29 ♏ 41	27 4
	24 10	3 12 ♌	9 35	26 21	0 ♎ 21	28 56	0 3	27 1
	25 11	2 24 ♍ 59	9 31	26 34	0 58	0 ♏ 5	0 16	26 58
	26 12	2 7 35	9 28	26 47	1 35	1 14	0 27	26 55
	27 13	1 19 ♎ 47	9 24	26 59	2 12	2 23	0 34	26 52
e	28 14	1 1 52	9 21	27 12	2 49	3 33	0 40	26 48
Michael.	29 15	0 13 55	9 17	27 25	3 25	4 43	0 31	26 45
Hieronymi	30 16	0 25 56	9 14	27 37	4 2	5 53	0 22	26 42

- Si nos fijamos en las fechas y en las horas del eclipse dadas por Regiomontano y por la NASA, podemos apreciar una aparente disparidad en las mismas, tanto en el día como en la hora, y que tiene su explicación. Regiomontano da la fecha del 14 de septiembre a las 19 h 45 m como hora local de Nuremberg, y sin especificar el momento o fase del mismo. Dicha hora local se refiere a las 19 h 45 m pasado el mediodía local, es decir, según él, sucedió a las 7 h 45 m del siguiente día, 15 de septiembre. Esta interpretación de las horas dadas en las Efemérides hay que realizarlas siempre, tanto para los eclipses de sol como de luna, empezando a contar el tiempo, dado en horas y minutos, desde la medianoche o el mediodía respectivo, según convenga para el tipo de eclipse que sea; si es de sol que la hora caiga en el día y si es de luna que lo haga en la noche. Esta forma de dar el tiempo viene del hecho de que medían el mismo a partir de las culminaciones inferiores o superiores de los astros y la NASA lo da en hora digital, de 0h a 24 h.

Realizando las correcciones oportunas a la hora del máximo eclipse dada por la Agencia, del ΔT y de λ, obtenemos para la hora local del eclipse en Nuremberg las 7 h 13 m 22 s. De esta manera el error cometido respecto a NASA por Regiomontano es de unos 31 m.

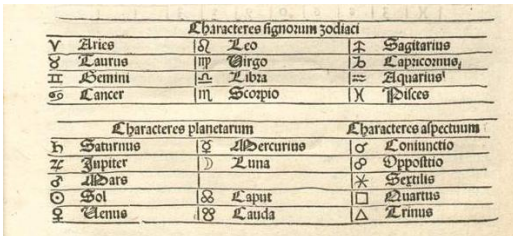
La confusión para una posible interpretación correcta de esta diferencias de tiempo en longitud deriva de la elección del meridiano de referencia elegido: Greenwich para NASA, Cádiz para Hernando, San Vicente para su padre Cristóbal Colón y el de Nuremberg para Regiomontano.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, y en un intento por encontrar una explicación para la medida de la longitud realizada mediante el eclipse lunar por el Almirante cuando se hallaba en la isla de Saona, se me ocurren dos posibles explicaciones.

La primera es que Colón se hubiera basado directamente en los tiempos reflejados en las Efemérides para la fase máxima del eclipse (suponiendo que ese es el momento que recoge Regiomontano), las 7 h y 45 m del día 15 de septiembre y teniendo en cuenta que ese mismo momento del eclipse, según se halló antes, sucedió a la 1 h 54 m 16 s, hora local en la isla de Saona, entonces la diferencia de tiempos es igual a : 7 h 45 m − 1 h 54 m 16 s = 5 h 50 m 44 s, una cantidad relativamente próxima a la dada tanto por Colón como por su hijo Hernando y en cierto modo asumible si tenemos en cuenta los errores potenciales que siem-

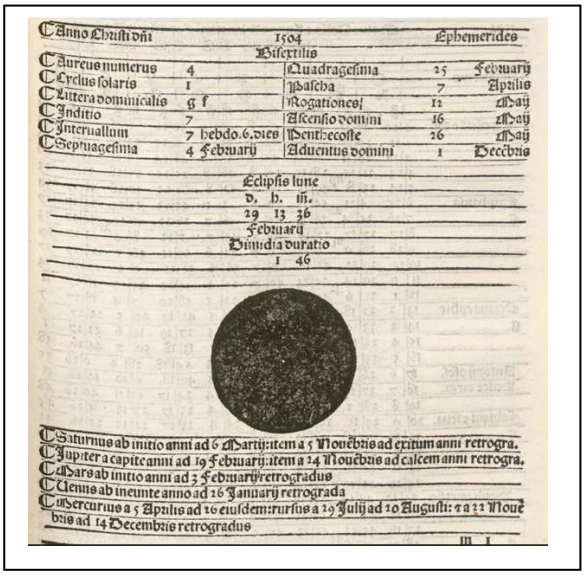
pre rodeaban a este tipo de mediciones.
Si esta fuera la explicación, entonces las referencias de ambos en sus citas sobre los meridianos de San Vicente y de Cádiz, tomados como origen, sobran y son erróneas, ya que como anteriormente se calculó, la diferencia real en longitud entre el cabo de San Vicente y Saona es de 4 h 9 m y 36 s, y respecto a la ciudad de Cádiz es de 3 h 58 m 49 s.
La segunda explicación sale de una posible suma de las leguas recorridas en su segundo viaje (según el Diario, éstas fueron 1.120 leguas), con las que hay entre San Vicente y la Gomera (la isla desde la que salió), que son otras 117 leguas, haciendo un total de 1.237, las cuales multiplicadas por 5,5 Km cada una de ellas (según el valor asignado a la legua castellana) dan 6.803 km, recorridos por el paralelo 28º N (el seguido durante su primer viaje). Como la circunferencia terrestre para Colón medía 30.187 km, medida que resulta de multiplicar las 20.397 millas asignadas a la Tierra por Alfragano, por los 1.480 m para cada milla (la italiana de Colón). Después al dividir los 30.187 Km entre 360º, nos da una ratio de 83,85 km por cada grado, por lo que a los 6.803 km les vienen a corresponder unos 81º en longitud, igual a 5 h 24 m en tiempo. Esta cantidad es casi igual a la dada por el Almirante en sus " Profecías " y también por su hijo Hernando en la obra " Historia del Almirante ".
El otro eclipse de luna reseñado en las citas es el sucedido el 29 febrero/ 1 marzo de 1504 según fuera observado en Jamaica o en Europa Occidental. El hecho de que fuera observado en Jamaica se debe a su estancia en esta isla durante un año, desde junio de 1.503 hasta junio de 1504, obligado por el mal estado de los barcos.

La convivencia con los nativos fue buena al principio, pero se fue deteriorando con el paso del tiempo, agravada por las disputas internas en la expedición, surgidas de la rebelión de los hermanos Porras, capitanes de una de las carabelas. En este contexto de privaciones y necesidades se produjo el eclipse en los términos que son descritos por su hijo Hernando, que con trece años le acompañaba en el viaje. El lugar concreto desde el que fue observado fue la bahía de Santa Ana, al norte de la isla. Sus coordenadas geográficas son:
Latitud, $\varphi = 18º,4392$ Norte y longitud, $\lambda = 77º,1968 = 5$ h 8 m 47 s
Como anteriormente hemos comentado, hay certeza de que Colón en este último viaje llevaba una copia del Almanaque de Regiomontano, en el que se preveía el eclipse de luna para el día 29 de febrero, a las 13 h 36 m y con una duración media de 1 h y 46 m.



Characteres signorum zodiaci					
♈	Arics	♌	Leo	♐	Sagitarius
♉	Taurus	♍	Virgo	♑	Capricornus
♊	Gemini	♎	Libra	♒	Aquarius
♋	Cancer	♏	Scorpio	♓	Pisces

Characteres planetarum				Characteres aspectuum	
♄	Saturnus	☿	Mercurius	☌	Coniunctio
♃	Iupiter	☽	Luna	☍	Oppositio
♂	Mars			⚹	Sextilis
☉	Sol	☊	Caput	□	Quartus
♀	Venus	☋	Cauda	△	Trinus



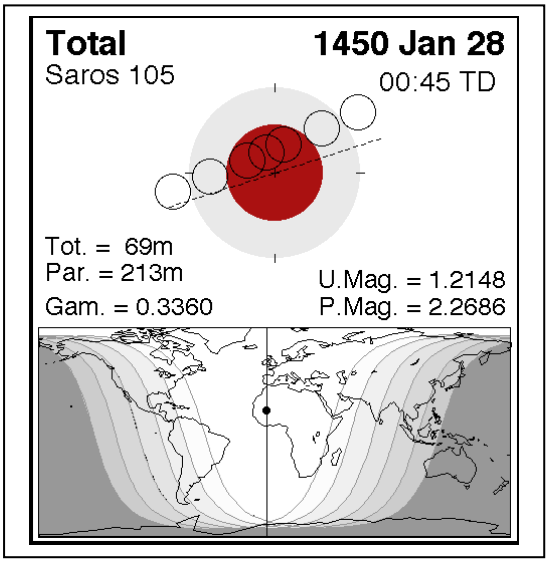
Anno Christi dñi	1504			Ephemerides
		Bisextilis		
Aureus numerus	4	Quadragesima	25	Februarij
Ciclus solaris	1	Pascha	7	Aprilis
Littera dominicalis	g f	Rogationes	12	Maij
Indictio	7	Ascensio domini	16	Maij
Interuallum	7 hebdo.6.dies	Pentecoste	26	Maij
Septuagesima	4 Februarij	Aduentus domini	1	Decembris

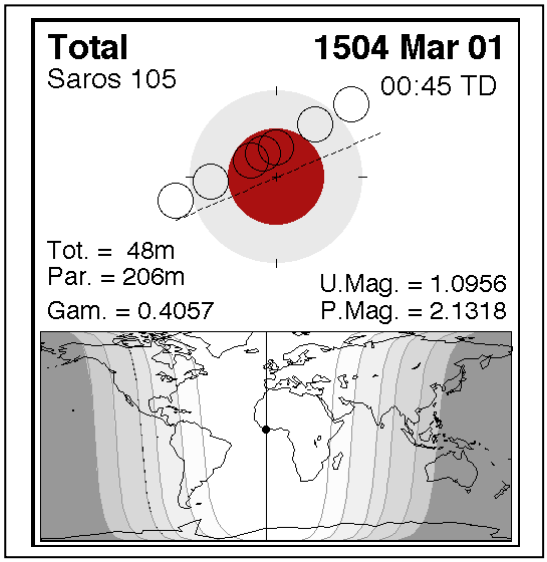
Eclipsis lune
d. h. m.
29 13 36
Februarij
Dimidia duratio
1 46

Saturnus ab initio anni ad 6 Martij: item a 5 Nouembris ad exitum anni retrogra.
Iupiter a capite anni ad 19 Februarij: item a 14 Nouembris ad calcem anni retrogra.
Mars ab initio anni ad 3 Februarij retrogradus
Venus ab ineunte anno ad 16 Januarij retrograda
Mercurius a 5 Aprilis ad 16 eiusdem: rursus a 29 Julij ad 20 Augusti: et a 22 Nouembris ad 14 Decembris retrogradus

En los cuadros de al lado se puede ver, en el arriba, los símbolos utilizados en el Almanaque para cada uno de los signos del Zodiaco, los correspondientes a los planetas, el Sol y la Luna y para los nodos ascendente y descen-

dente de ésta última y, finalmente, para las configuraciones de los planetas y de las dos Luminarias principales del Sistema Solar.
En el de la derecha se dan las efemérides para ese año de los días de fiestas en el calendario cristiano, el momento del eclipse (o eclipses) que habrá y, por último, los movimientos generales de cada uno de los planetas.
A diferencia de otros años, en éste no se aporta ninguna información de los eclipses solares que tuvieron lugar ese año en los meses de marzo y septiembre.
Los eclipses de luna se rigen por un ciclo temporal conocido con el nombre de saros, que tiene una amplitud de 18 años 11 días y 8 horas, durante el cual la secuencia de eclipses de luna se repiten en el cielo, pero no en el mismo momento del día para un lugar geográfico concreto, ya que el factor de las ocho horas hace que durante ese tiempo, la rotación de la Tierra haya realizado un giro de 120º, desplazando el meridiano donde se produce el máximo del eclipse un tercio de la circunferencia terrestre, con lo cual, puede que pasado un saros, el eclipse no sea visible en el mismo lugar donde ocurrió anteriormente, como es el caso de este eclipse en la localidad de Nuremberg, para la cual fueron hechas las Efemérides.
No obstante, hay un periodo compuesto por tres saros, llamado exeligmo, con una duración de 54 años y 34 días, transcurrido el cual el eclipse de luna sí tiene lugar casi en las mismas condiciones en el que sucedió un poco más de medio siglo antes. Esta periodicidad, y otras más, son también las que rigen en los eclipses de sol, pero son mucho más difíciles de predecir, pues el cono de sombra proyectado por la Luna sobre la superficie de la Tierra es mucho más pequeño que todo el hemisferio en donde es de noche. Los cuadros de abajo confirman lo dicho sobre el exeligmo.





Estos ciclos eran conocidos desde la Antigüedad, por lo que es lícito pensar que también eran del dominio en el mundo renacentista, facilitando la elaboración de estas Efemérides
Los datos técnicos correspondientes a este eclipse, además de los que se ven en el cuadro son:

Date	Td greatest	ΔT	luna nº	saros	tipo	QSE	Gamma	Pen Mag	Um mag	Pen (m)	Par (m)	Tot (m)	lat	Long
1-III-1504	00:44:47	191	-6133	105	T	-p	0.4057	2.1318	1.0956	339.7	205.8	47.6	4N	8W

Comparando la hora que viene en las Efemérides para el momento del eclipse, las 13 h y 36 m (suponiendo que en las mismas se elija también este momento), después del mediodía local, es decir, la 1 h y 36 m del día 1 de marzo, con las propuestas por Nasa, las 0 h 41 m 36 s de Tiempo Universal, tiempo corregido ya de ΔT, y al que hay que añadirle la corrección en longitud correspondiente a Nuremberg, de 44 m 18 s, para darnos un tiempo local verdadero

de 1 h 25 m 54 s , tiempo muy similar al dado por Regiomontano y acorde a los errores estándar cometidos en esa época para los eclipses de luna, que eran de unos 10 minutos.
Para calcular el tiempo local en el que se produjo esa fase máxima, en la Bahía de Santa Ana, se resta al TU la longitud del lugar :
TL = TU − λ = 0 h 41 m 36 s − 5 h 8 m 47 s = 19 h 32 m 49 s de la tarde del día 14.
Es el momento de introducir la referencia que hay sobre la longitud, calculada mediante este eclipse, que había entre Cádiz y el lugar de observación en Jamaica. Los cálculos arrojaron una diferencia de longitud entre los dos lugares de 7 h y 15 m.
La cita de este dato se encuentra en el libro de " Las Profecías ",escrito por Cristóbal Colón entre los años 1502 y 1504.
En esta obra Colón, embargado ya en sus últimos años de vida por un sentimiento religioso, hace una interpretación bíblica de la empresa del Descubrimiento, defendiendo la misma en términos de cristianización de las poblaciones nativas y convirtiendo a los Reyes Católicos en el estandarte de la Cristiandad que, una vez encontrado el tan ansiado paso al oeste que permitiera llegar al Extremo Oriente y a sus riquezas, les pusiera en disposición económica de volver a restaurar a la fe cristiana, mediante conquista, de la ciudad de Jerusalén.
Las coordenadas del Sol y la Luna en el momento máximo del eclipse fueron:

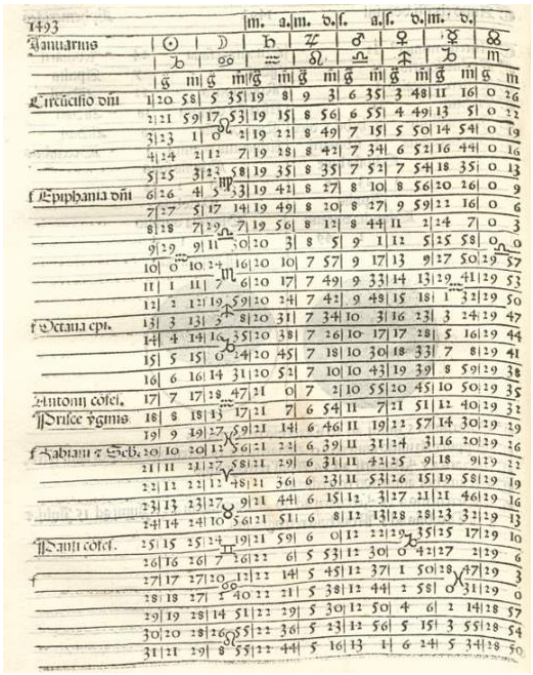
Astro	Ecuatoriales geoc.	Ecuatoriales topoc.	Eclípticas	Horizontales
Sol	α = 350º,823916 δ = − 3º,967666	α' = 350º,821708 δ' = − 3º,968388 H = 110º,521041	L = 350º,009603 B = − 0º,0001649	A = 92º,755 h = − 20º,14
Luna	α = 171º,010958 δ = 4º,304111	α' = 171º,861875 δ' = 4º,028305 H = 289º,480875	L = 170º,312062 B = 0º,382890	A = 272º,349 h = 19º,788

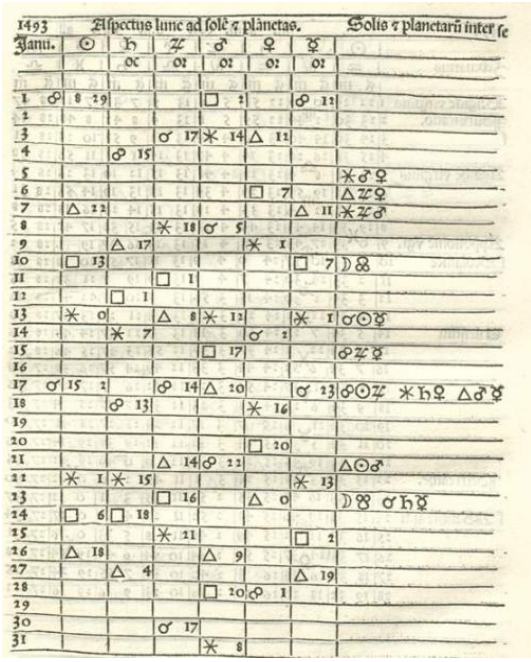
Como sucedió en el otro eclipse, El Sol y la Luna ocupaban puntos opuestos en el espacio y sobre el horizonte local.
Es evidente que si la diferencia en longitud entre Cádiz (" Calis ") y la Bahía de Santa Ana es igual a ΔL = 77º,1968 − 6º,2975 = 70º,8993 = 4 h 43 m 36 s, entonces la cita dada por Cristóbal Colón en las Profecías comete un error temporal de cerca de dos horas y media.
Es complicado dar una justificación del mismo, no obstante nuevamente se me ocurren dos posibles explicaciones que pudieron intervenir en ese cálculo erróneo de la longitud.
Para la primera de ellas nos sirve la afirmación del Almirante, presente en la carta del 7 de julio de 1503 que escribió a los Reyes Católicos, relatando los hechos ocurridos durante su cuarto viaje. En un momento del relato dice : ***" Cuando yo partí de allí*** (La Española)***, los pilotos pensaban que íbamos a llegar a la isla de San Juan*** (Puerto Rico) ***y fue a la tierra de Mango*** (Oeste de Cuba)***, cuatrocientas leguas más al oeste de lo que suponían "***.
Es posible que Colón pensara que al encontrarse 400 leguas al oeste de la isla De Saona, para la cual antes había dado una diferencia en longitud respecto del Cabo de San Vicente, según sus mediciones realizadas para el primer eclipse, ahora al hallarse esas 400 leguas más lejos de lo que estuvo en el anterior eclipse, longitud que al ser dividida entre las 14,66 leguas asignadas a cada grado obtenemos como resultado 27º,2851 = 1 h 49 m 8 s, y por consiguiente si sumamos ambos tiempos, entonces se encontraría con una diferencia en longitud igual a :
5 h 23 m + 1 h 49 m = 7 h 12 m, reflejándolo en su libro de las Profecías. En esta suma, el primer sumando recoge el tiempo aportado por su hijo Hernando, ligeramente inferior al dado por Colón de " ***....cinco horas y más de media "***.
La segunda explicación supone asumir que la fuente que suministró los tiempos fuera las Efemérides que él llevaba y leyera directamente en ellas que el momento del eclipse previsto por

Regiomontano sería a las (1 + 24) h y 36 m, mientras que en la localidad donde se encontraba a las 19 h 32 m 49 s.
De esta manera la diferencia horaria es 25 h 36 m – 19 h 32 m = 6 h 4 m , todavía un poco más de una hora de error respecto a lo que él escribió.
¿ Pudo ocurrir entonces que los momentos observados de la fase del eclipse fueran distintos ?, por ejemplo que Regiomontano lo midiera para la fase máxima, mientras que Colón tomó el tiempo correspondiente al primer momento en el que fue visible el eclipse en la Bahía de Santa Ana.
Si hubiera sucedido así, como la fase de parcialidad esa tarde empezó 103 m antes que el momento máximo, deducimos que fueran las 19 h 32 m 49 s – 1 h 43 m = 17 h 49 m 49 s cuando la Luna empezó a ser " mordida " por la sombra de la Tierra. Lo malo era que ese día, a esa hora y en ese lugar el Sol se encontraba 3º,8 por encima del horizonte " ***El comienzo fue primero que el Sol se pusiese)*** y la Luna no había salido aún; hubo que esperar 21 m más, hasta las 18 h 11 m para que el Sol se hubiera puesto totalmente y la Luna se encontrara por encima del horizonte.
Suponiendo que esto fue lo que ocurrió, entonces la diferencia ahora es igual a 25 h 36 m – – 18 h 11 m = 7 h 25 m, casi igual al tiempo registrado por el Almirante. Si se acepta esta segunda interpretación, de nuevo sobraría la referencia a la ciudad de Cádiz.
Finalmente, si esta diferencia en longitud hubiera sido intencionada, entonces es que a él le interesaba estar todo lo más al occidente posible, cerca de Catay y la India, pues según las capitulaciones de Santa Fe sería, además de Almirante del Océano, también el Gobernador de todos los territorios descubiertos.
Esto que para mí sólo supone una posible interpretación de los hechos ocurridos hace más de cinco siglos y vistos desde la perspectiva actual, no sería tan importante para Colón en ese momento de su vida. por entonces, su cuerpo se encontraba cansado y dolorido por la enfermedad de la gota, su ánimo decaído por la rebelión de los hermanos Porras, capitanes de una de las carabelas varadas en la playa, y su mente ocupada en la defensa que haría de su causa ante los Reyes Católicos, una vez que regresara a Castilla.
Dos años más tarde, el 20 de mayo de 1506, moriría en Valladolid, habiendo recibido con mucha devoción todos los sacramentos de la Iglesia y dicho estas últimas palabras : " ***in manus tuas, Dómine, commendo spiritum meum*** ".
Pero no eran sólo los eclipses de luna los empleados para intentar medir la longitud geográfica, sino que también era posible calcularla, por lo menos en teoría, por medio de las posiciones planetarias y sus ocultaciones por la Luna, método seguido por Vespucio, con más o menos éxito.
También era importante conocer las posiciones relativas de los planetas y demás astros entre sí , porque se asociaban ciertas configuraciones de los mismos con el mejor o peor tiempo atmosférico, y esto en la mar era muy importante, ya que la seguridad y la vida de toda la tripulación estaba en juego.

Las posiciones planetarias y la longitud

En la cita del 13 de enero de 1493, durante el primer viaje colombino, podemos comprobar la importancia que se le daba a las distintas posiciones de los planetas entre sí y con respecto a la Luna y el Sol, pues se creía que originaban vientos fuertes, tempestades y tiempo adverso para la navegación en general.
Ya en las Efemérides de Regiomontano, éste relacionaba estados concretos del tiempo atmosférico con los movimientos planetarios, observándose en las numerosas impresiones de la obra realizadas a finales del siglo XV la existencia de amplios márgenes presentes en los laterales de las hojas para poder hacer anotaciones, registrando el tiempo que acompañaba a las distintas configuraciones.





Configuraciones planetarias en enero de 1493, según las Efemérides de Regiomontano

Colón estaba convencido de que la oposición de Júpiter con la Luna y el Sol iba a originar una poderosa tormenta, hasta el punto de posponer su salida de la bahía en la que se encontraba, la Bahía del Rincón, en la costa norte de la República Dominicana. Además, esos días esta aprehensión se veía reforzada por la triple conjunción del Sol, la Luna y Mercurio en la constelación de Capricornio y la de Saturno, en la vecina Acuario.

Aunque Colón, a diferencia de Vespucio, no usó las conjunciones de los astros en el cálculo de la longitud geográfica, sí que condicionaba su navegación y, por este motivo se va a analizar la situación planetaria que le acompañó durante esos días y qué pudo, ¿ o quizás no ?, ver en el cielo nocturno.

En los dos cuadros de arriba se pueden ver los datos relativos al Sol, la Luna y los planetas para cada uno de los días del mes de enero de 1493. Para cada cuerpo celeste, estos datos están expresados en grados y minutos, a contar desde el momento en el que ingresan en el signo del zodiaco correspondiente por el que transitan, y respecto al plano de la Eclíptica.

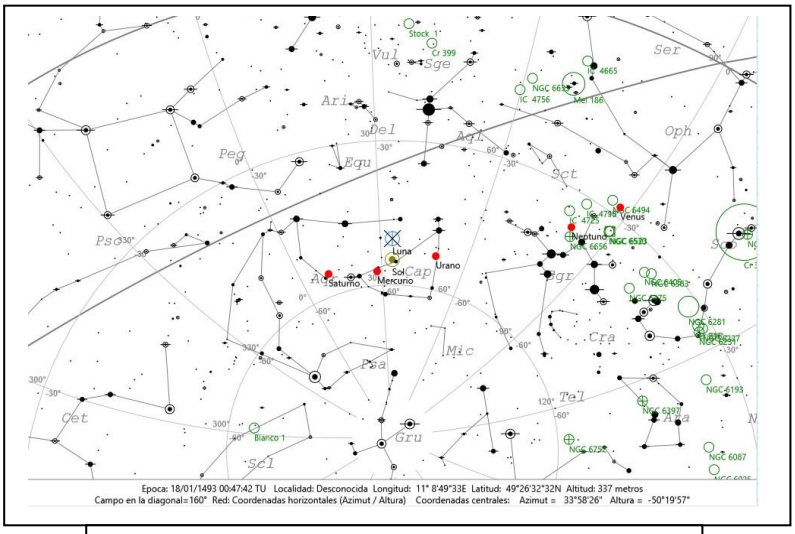
Ya sabemos que cada signo del zodiaco abarca una amplitud de 30º, desde los 0º del punto Aries hasta 360º. Por ejemplo, el día 18, el Sol se encontraba 8º 18' dentro de Acuario, la Luna 13º 17' y en el mismo signo, Mercurio 12º 40' también en Acuario y Júpiter 6º 54' en Leo.

Nuevamente es necesario recordar que había un desfase de aproximadamente unos nueve días entre la fecha del calendario civil y la fecha del calendario astronómico,. De esta forma, lo que para Regiomontano era el 17 de enero, con el Sol en Acuario, en realidad era el 26 de enero y en esta fecha el Sol transita por Capricornio, afectando de igual manera a los otros astros en sus posiciones reales en el cielo.

En el cuadro de arriba a la derecha se reflejan sus posiciones relativas para el momento en el que se produce la conjunción de la Luna con el Sol, a las 3h (15 h después del mediodía) y 2 m hora local de Nuremberg, aunque esa conjunción realmente se produjo a las 0 h 47 m 42 s (TU) del día 18 de enero, o la 1 h y 32 m en hora local. También nos informa de la oposición del Sol con Júpiter a las 2 h (14 h), predicción realizada sin error, pues se produjo realmente un minuto más tarde, a las 2 h 1 m; de la conjunción de la Luna con Mercurio para las 11 h de

la noche (23) y que sucedió a las 3 h 35 m, y finalmente, las separaciones angulares en el cielo entre Saturno y Venus (60º) y entre Marte y Mercurio (120º).

En el cuadro de al lado se puede ver la localización de los astros anteriormente mencionados en la cita de Colón para ese día 18 de enero, en el momento de la conjunción de la Luna con el Sol. En el mismo no aparecen las posiciones de Júpiter y de Marte, por caer fuera del campo angular representado.



Posiciones planetarias durante la conjunción del Sol con la Luna el 18 de enero de 1493.

Hay que decir que tampoco pasó desapercibido para él la conjunción del Sol con Mercurio, ocurrida unos días antes, el 13 de enero.

A pesar del interés del Almirante por ver la múltiple conjunción, esta no era posible pues el resplandor del Sol lo impedía. Lo único que podía ser visible esa tarde del 17 de enero, desde la Bahía del Rincón, sería a Júpiter alzándose por el horizonte este y a Saturno poniéndose por el oeste, siguiendo la estela del Sol, cuando éste se encontraba ya unos 12º por debajo del horizonte, al final del crepúsculo náutico, siendo ya las 18 h 48 m 48 s.

Resulta claro pues que había consultado, o bien las Efemérides de Regiomontano o las Tablas de Abraham Zacuto, si estas últimas las llevaba, las cuales eran más difíciles de interpretar.

Estas conjunciones planetarias, no aprovechadas por Colón para el cálculo de la longitud, sí lo fueron por parte de Américo Vespucio durante su segundo viaje.

- <u>Conjunción de la Luna con Marte.</u>

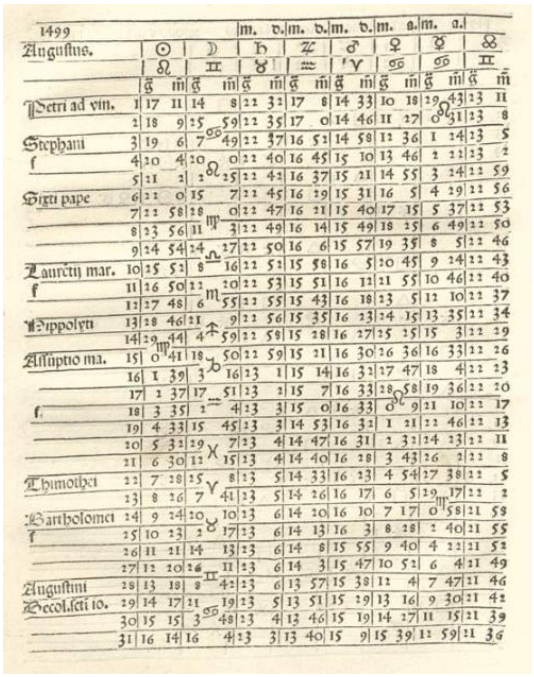
Si Cristóbal Colón se sirvió de los eclipses de luna para el cálculo de la longitud, Américo Vespucio nos informa de cómo usó el fenómeno astronómico de la ocultación de Marte por parte de la Luna, ocurrido el 23 de agosto de 1499 y observado por él desde algún punto de la costa atlántica norte del continente suramericano, y con el mismo objetivo.

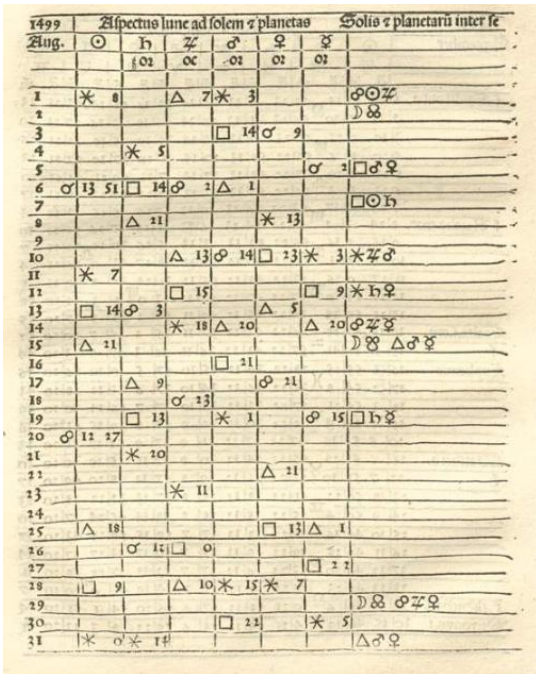
Aunque se desconoce el lugar exacto de observación, se tienen suficientes indicios de que lo hiciera desde la costa colombiana, más concretamente desde el Cabo de la Vela, situado en la península de Guajira, si hacemos caso a las referencias realizadas por Bartolomé de las Casas, respecto a la salida desde esta costa hacia La Española de la expedición de Alonso de Ojeda, de la que tanto Vespucio como Juan de la Cosa formaban parte, y a la que llegaron el 5 de septiembre. Además el topónimo del cabo, al que él dio nombre, Vespucio parece informarnos de que en ese lugar realizó numerosas observaciones nocturnas, en consonancia con su declaración de ***" haber perdido mucho sueño de noche en ponerme de acuerdo con los sabios "*** , presente en su Carta sobre el tercer viaje.

Asumiendo como muy probable esta localización, sus coordenadas geográficas serían :

Latitud, φ = 12º,205313 Norte y longitud, λ = 72º,1583 Oeste = 4 h 48 m 38 s

La fuente de datos en la que expresamente se basa Vespucio es la de Regiomontano y probablemente también para el método de las distancias lunares que aplica al problema, y que el astrónomo alemán había aplicado con anterioridad para el cálculo de las distancias a los cometas (en concreto sobre el cometa Halley).





Configuraciones planetarias en agosto de 1499, según las Efemérides de Regiomontano

Aunque en las tablas de las Efemérides no se hace mención concreta de esta conjunción, sí que Vespucio pudo acceder a esta información consultándolas, pues se aprecia en ellas que Marte transita por Virgo y la Luna también. En sus citas comete varios errores que paso a analizar a continuación.

Vespucio asigna a las tablas en las que basa sus observaciones unos meridianos de referencia incorrectos, a saber, la ciudad de Ferrara en Italia para las de Regiomontano y la de Salamanca para las de Zacuto y el rey Alfonso X el Sabio, cuando estas últimas tienen como meridiano origen a Toledo.

La conjunción u ocultación parcial de Marte por la Luna en el meridiano de Nuremberg, que es casi igual al de Ferrara (0º,1 de diferencia), se dio a las 20 h de TU que corresponde a las 20 h 44 m 18 s de tiempo local en la ciudad alemana.

Por tanto, no es cierta su afirmación de que la conjunción se esperaba para la medianoche o media hora antes. A esa hora, más exactamente a las 23 h 44 m 18 s, las coordenadas ecuatoriales topocéntricas y horizontales de la Luna y Marte eran :

Astro	Ascención recta α	Declinación δ	Acimut A	Altura h
Luna (1)	15º,973625	0º,983111	324º,531	35º,952888
Marte (2)	13º,9735	0º,667861	326º,980777	36º,387

Para calcular la distancia angular (d) que había entre la Luna y Marte hacemos uso de la siguiente expresión :

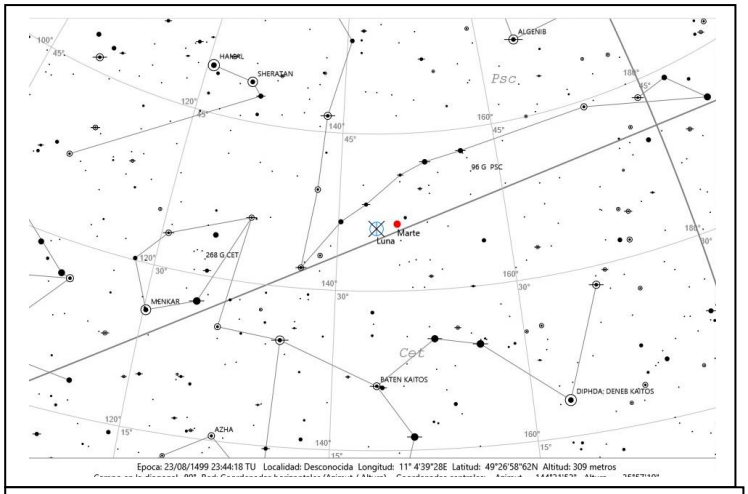
$\cos d = \operatorname{sen} \delta_1 \cdot \operatorname{sen} \delta_2 + \cos \delta_1 \cdot \cos \delta_2 \cdot \cos (\alpha_1 - \alpha_2)$

Sustituyendo valores, vemos que la distancia entre Marte y la Luna era d = 2º,024609, estando el planeta sobre el horizonte cerca de 2º,5 más al oriente que la Luna, como se puede apreciar en el cuadro siguiente, transitando ambos astros en ese momento por la constelación de Piscis.

Volviendo a nuestro hipotético puesto de observación, el cabo de la Vela, observamos que el

Sol tuvo su ocaso a las 23 h TU, las 18 h 11 m 22 s hora local, apareciendo la Luna por el horizonte este 2 h y 14 m más tarde, a las 20 h 25 m 22 s.

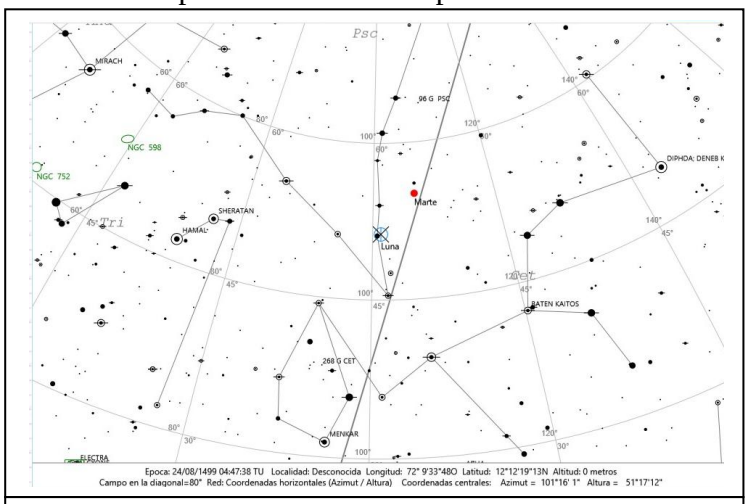
Su separación angular entonces era de 3º,5, situándose Marte 1º,81 más al este que la Luna, que se encontraba en fase de gibosa menguante, con un 90% de su disco iluminado. Los datos obtenidos con el programa de Efemérides Astronómicas no concuerdan con lo referido por Vespucio, tanto para el tiempo del orto lunar como en la separación angular entre ambos cuerpos celestes, dejándonos así mismo un tanto confundidos sobre su disposición relativa respecto al horizonte.



Posiciones de la Luna y Marte la tarde del 23 de agosto del 1499, vistas desde la ciudad de Nuremberg.

Por último, en la medianoche local, las 4 h 47 m 38 s, de TU del 24 de agosto, realizados los cálculos, encontramos que su distancia angular ha aumentado hasta d = 5º,067, corroborando lo dicho por Vespucio sobre la mayor rapidez en su movimiento sobre el cielo del " planeta " Luna.

Ahora Marte estaba 5º,56 más al este que la Luna, como se puede ver en el cuadro de la derecha.



Posiciones de la Luna y Marte en la medianoche del 23 de agosto del 1499, vistas desde el Cabo de la Vela.

Aunque Vespucio cuenta que en este momento Marte se encontraba 15º más al oriente que nuestro satélite, hemos de interpretarlo como un error suyo, que más adelante en el mismo texto, implícitamente, parece haber corregido ya.

Es el momento de adentrarnos en el argumentario en el que pudo basar su cálculo de la longitud en la que se encontraba.

Todo apunta a que, de forma errónea, él adjudico al movimiento de la Luna una velocidad media sobre el fondo celeste de un grado por hora; digo errónea porque este incremento se movía realmente alrededor del medio grado, con tendencia a disminuir a medida que ganaban altura en el cielo.

El razonamiento que siguió pudo ser que, si a la medianoche en Ferrara (Nuremberg) debió darse la conjunción, y a medianoche en el lugar en el que se encontraba, la Luna y Marte se habían separado unos 5º,5, entonces es que habían transcurrido cinco horas y media entre los dos momentos del fenómeno astronómico.

Después, si la Tierra gira 360º en 24 horas, entonces en 5,5 horas habrá girado lo siguiente : 5,5 h · 15º = 82º,5.

Él vuelve a cometer el error de medir la longitud respecto al meridiano de Cádiz, en vez de hacerlo desde Nuremberg. No obstante hay que decir que la diferencia en longitud real entre el Cabo de la Vela y Nuremberg es $\Delta\lambda$ = 72º,1583 + 11º,077777 = 83º,236077, con lo que Vespucio se aproximó de una forma verdaderamente increíble al cálculo correcto de la longi-

tud, mediante la utilización del método astronómico de las distancias lunares.
Detrás de este razonamiento tan impecable teóricamente por su parte, existen una serie de objeciones e interrogantes que me planteo y que expongo a continuación:

- Vespucio sólo pudo seguir las posiciones de la Luna y de Marte desde que se produjo el orto de aquella, a las 20h 25m de la noche, hasta su última medición de la distancia (d) entre ambos que, según dice fue a medianoche. Por consiguiente su seguimiento duró unas tres horas y media, durante las cuales los incrementos angulares en la distancia d, por cada hora transcurrida, se iban haciendo paulatinamente menor y en ningún caso mayor de 0º,5 por hora.
- Entre la hora en la que se produjo la conjunción, las 15 h 11 m hora local, y la medianoche, habían transcurrido cerca de nueve horas, durante las cuales también, paulatinamente, los incrementos (Δd) por cada hora fueron disminuyendo, desde 0º,75, la primera hora después de la conjunción, hasta aproximadamente 0º,33 la última.

Realizando la media de todas ellas nos da 0º,54 por hora; media que nos pone en un acumulado total cercano a los 5º, que fue la distancia real vista por él sobre la medianoche. Esta separación dividida entre el tiempo que según él estuvo observando (unas cuatro horas y media) pudo llevarle a evaluar en 1º por hora el incremento de la distancia entre los dos cuerpos celestes.

- La contradicción que parece existir en calcular la longitud desde la ciudad de Cádiz, cuando es consciente de estar utilizando las Efemérides de Regiomontano, según el propio Vespucio elaboradas para el meridiano de Ferrara, plantea serios interrogantes sobre el método usado.
- Por otro lado, es sintomático que exista un paralelismo entre los resultados obtenidos por Colón para la longitud de la isla de Saona, cinco horas y veintitrés minutos, y los calculados por Vespucio para el cabo de la Vela, cinco horas y media. Así mismo, ambos la referencian desde Cádiz, cuando no existían ninguna Tabla que utilizara esta ciudad como meridiano origen.
- Que un experimentado marino como era Vespucio, que llegó a ser Piloto Mayor de la Casa de Contratación de Sevilla, debía conocer que las longitudes de Saona y del cabo de la Vela eran muy similares (unos 3º,5 de diferencia entre ellas) le hizo sentirse legitimado para asignar a este cabo colombiano la misma longitud dada a la isla dominicana por el Almirante de Castilla.
- No puedo pasar por alto la posibilidad de que Vespucio llevara a cabo su observación frente a las costas de Venezuela en lugar de las colombianas, a su vuelta del cabo de San Roque y de San Agustín, situados ambos al noreste de Brasil, ya que navegó por estas costas con dos carabelas, de las cuatro que formaban la expedición de Ojeda.

Por esto, eligiendo la península de Paria venezolana como posible zona de observación de la conjunción, y después de realizados los cálculos correspondientes de forma similar a como se realizaron para el cabo de la Vela, los resultados obtenidos son muy similares; solo cambian un poco las horas locales al orto de la Luna, y del ocaso del Sol, consecuencia directa de estar situado el lugar de observación más al oriente y también, por la misma causa, las distancias angulares (d) al aparecer los dos astros por el horizonte y durante la medianoche local son un poco menores.
No obstante esta posibilidad es altamente improbable ya que no parece haber días suficientes de por medio para encajar con el relato del viaje, en el que nos cuenta como se reunió con las otras dos carabelas de la expedición, al mando de Ojeda y que con anterioridad se habían dirigido hacia el oeste, hacia el lago Maracaibo y la península de Guajira; para una vez juntos, navegar hasta la Española, adonde llegaron el 5 de septiembre.
Como se ha podido vislumbrar por todo lo dicho sobre el cálculo de la longitud geográfica y sobre los métodos empleados, el problema no había encontrado una solución práctica en el

momento en el que se emprende la vuelta al mundo Magallanes, y continuará así durante mucho tiempo más.
Respecto a nuestro cronista del viaje, Pigafetta, éste solamente nos informa de la longitud por la que navegaban, tomando como referencia el meridiano de repartición del mundo surgido del Tratado de Tordesillas, pero no nos aporta ninguna información sobre cómo los pilotos, en concreto Francisco Albo, calculaba su posición en longitud; es de suponer que lo haría en función de la derrota seguida por la embarcación y de la velocidad que llevaban. Su composición daría la longitud teórica alcanzada.

Los planisferios celestes y las constelaciones del Hemisferio Sur.

Como ya reflejé al principio del trabajo, uno de los objetivos del mismo era poder comprobar, mediante los planisferios, cómo a medida que los marinos iban abriendo rutas nuevas por los Mares del Sur, también se iban enfrentando a un cielo desconocido para ellos, que les desconcertaba, pues ya no sabían " moverse por el Océano " apoyándose en unas constelaciones tan familiares y, en cierta medida, tan amigas como las del Norte.
El ir bajando en latitud hacia el sur, implicaba que las ventanas de visibilidad del horizonte cambiaban, apareciendo paulatinamente estrellas y agrupaciones de ellas que antes no eran visibles en su totalidad.
Si se define el Hemisferio Sur celeste como la parte de la bóveda que queda por debajo del Ecuador celeste, entonces hay que decir que muchas de las estrellas ya conocidas desde la Antigüedad eran de este hemisferio, y así figuraban ya en el catálogo de estrellas de la Astronomía clásica elaborado por Claudio Ptolomeo en su obra del Almagesto. Como ejemplo de esto último se pueden nombrar las constelaciones del Can Mayor, Centauro y la Cruz del Sur, totalmente australes, con estrellas de gran magnitud visual y que por entonces, en el siglo II d.C., eran plenamente visibles en el mundo mediterráneo. En este tratado astronómico se da un completo catálogo estelar, muy valioso, por tener detrás en su elaboración la mano de otro grandioso astrónomo del mundo antiguo, Hiparco de Nicea.
Hay que tener en cuenta también que, con el paso del tiempo, y por efecto de la precesión de los equinoccios, algunas constelaciones dejaron de ser visibles en las latitudes medias del norte y se perdió su recuerdo, como sucedió con la Cruz del Sur.
Como características generales de las constelaciones australes, respecto a las boreales, se puede decir que :

- Hay más constelaciones catalogadas en el Hemisferio Sur que en el Norte.
- En el Sur, los nombres de las mismas están relacionadas con instrumentos o la invención de mecanismos que hicieron su aparición en la Edad Moderna, mientras que en el Norte hay más mitología y más nombres de animales comunes para el hombre, presentes en su entorno inmediato.
- En el Sur se constata la existencia de constelaciones pequeñas que llenan los espacios existentes en el cielo nocturno, muchas de ellas no muy luminosas, y que se encuentran dispuestas de una forma abigarrada, barroca, en consonancia con su tiempo y con el sentimiento generalizado de horror al vacío que imperaba entonces en las artes.
- En el Sur se aprecian, y de qué forma, la existencia de nebulosas visibles a simple vista como son las dos Nubes de Magallanes, pero también de espacios oscuros, vacíos de estrellas a modo de manchas negras, más o menos extensas, como por ejemplo el llamado Saco de Carbón.
- En el Norte, la magnitud de las estrellas que conforman las constelaciones es más uniforme, haciendo más fácil de ver el asterismo que representan. En el Sur, se aprecia un cierto contraste, pues hay constelaciones muy brillantes, como la Cruz del Sur y el Can Mayor, y otras poco visibles como el Indio, Antlia y el Sextante.
- Hay dos constelaciones, ambas muy cercanas a los Polos Celestes, la Osa Menor en el nor-

te y Octante en el sur, que solo son visibles en sus respectivos hemisferios.

- En el Norte sí hay una estrella de referencia que nos indica el lugar del Polo, mientras que en el Sur, esto no ocurre, y bien que lo sentían los marinos de la época.

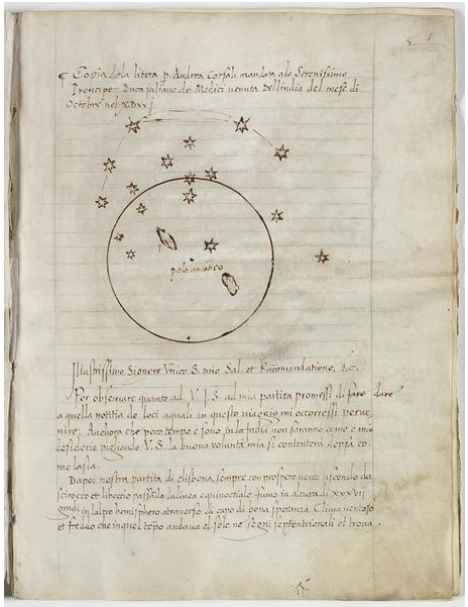
En un intento por disponer en un eje cronológico la aparición de las constelaciones del sur, debo decir que se aprecian ciertos hitos temporales, dispuestos de forma discontinua en ese eje temporal, pero que tienen una relevancia especial por el avance que supusieron en el conocimiento del cielo austral.

La primera referencia a una agrupación estelar significativa y espectacular en el cielo la tenemos en la descripción de la Cruz del Sur, que hizo el marino veneciano A. Cadamosto en el año de 1455, al llegar al archipiélago de Cabo Verde.

El testigo lo recoge y lo amplía A. Vespucio, el cual en sus viajes nos habla de la existencia de manchas o nebulosas (canopos) en el cielo, y de indeterminadas agrupaciones estelares que se disponían alrededor del Polo Sur, tan buscado por él.

En un alarde de interpretación de sus escritos parece que registró, de forma imprecisa, las constelaciones de Octante, el Camaleón y el Triángulo Austral; además de la Cruz y las estrellas α y β de Centauro. Como suele ser norma con Vespucio, sus afirmaciones hay que tomarlas con ciertos recelos.

Antes de la expedición de Magallanes, ya existía la primera representación de la Cruz del Sur, aportada por el explorador italiano Andrea Corsali en el año de 1516, según consta en una carta que envió a Giulano de Medici, indicando cómo sus cinco estrellas nos señalaban el Polo Sur, girando a su alrededor. También nos informa de las dos nebulosas y de trece estrellas más que no han sido identificadas.



Cruz del Sur dibujada por A. Corsali

Un año antes, en 1515, Alberto Durero imprimió sobre planchas de madera las constelaciones conocidas por entonces del Hemisferio Norte y del Sur.

Durante el Viaje ya hemos visto como Pigafetta nos describe la existencia de las Nebulosas de Magallanes y de la Cruz del Sur.

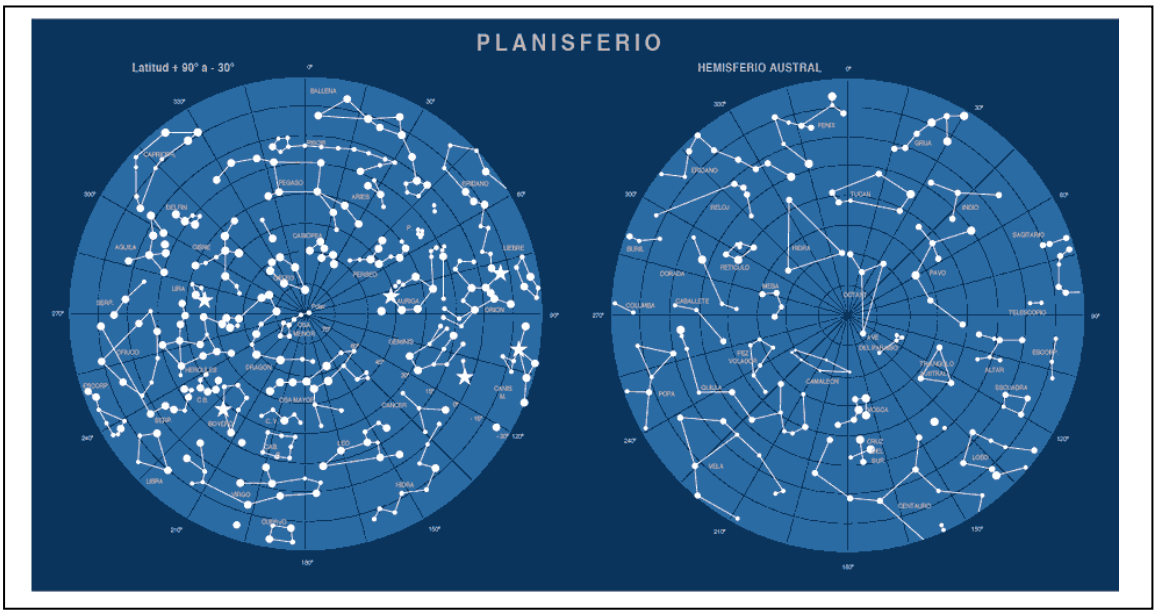
Posterior a la expedición de circunnavegación de la Tierra, el nuevo hito viene de la mano de la Escuela Holandesa de finales del S XVI, con los nombres propios de Petrus Plancius, Pieter Dirkszoon Keyser y Frederick de Houtman.

Plancius aportó el mapa más antiguo del Hemisferio Sur, en el que además de las las dos Nebulosas se pueden ver las constelaciones ptolemaicas y las más modernas de la Paloma, la Cruz del Sur, Eridano hasta su estrella α, el Triángulo Austral y otra, que desapareció posteriormente, llamada Polophylax, con siete estrellas.

Tanto Keyser como Houtman iban embarcados en una expedición comercial financiada por la Compañia de la Indias Orientales, con destino al archipiélago de Indonesia y que transcurrió entre los años de 1595 y1597. Keyser murió en la isla de Java, pero antes le dio tiempo a realizar observaciones astronómicas, las cuales a la vuelta de la expedición fueron entregadas por Houtman a Plancius y que le sirvieron para añadir doce nuevas constelaciones australes en su globo celeste de 1598.

El catálogo de Houtman, elaborado en Sumatra, da la declinación y la ascensión recta de 303 estrellas, de las que 107 estaban ya en el catálogo de Ptolomeo y 196 son nuevas. Estas estrellas nuevas se distribuían entre las constelaciones de : Fenix, Corona Austral, Eridano, Hydra, Dorado, Paloma, Argo Navis, Centauro, Cruz, Mosca, Volans, Camaleón, Lobo, Triángulo

Austral, Apus, Ara, Pavo, Indio, Grulla y Tucán.
Los instrumentos que utilizaron para realizar las mediciones fueron el astrolabio y el cuadrante.
El empujón definitivo para la elaboración del primer atlas moderno y completo del cielo lo dio el astrónomo alemán Johann Bayer, cuando publicó en el año 1603 su atlas estelar " Uranometría ". El mismo contaba con las constelaciones clásicas de Ptolomeo, más doce nuevas correspondientes al hemisferio sur y que había ya divulgado Keyser unos años antes.
Cada constelación estaba grabada en una placa de cobre, con una rejilla que permitía ver la posición de cada estrella. El total de estrellas relacionadas era de 1.200.
Dos avances significativos del Atlas de Bayer fueron la exactitud en las posiciones estelares, de hasta 1' de arco, lograda al utilizar el catálogo de más de 1.000 estrellas elaborado por el gran Tycho Brahe, el cual circulaba ya desde 1.598, y también la implantación de una nueva nomenclatura, basada en la magnitud visual de cada una de las estrellas de la constelación presentada y que asociaba la letra griega α a la de mayor brillo, para seguir después, mediante el alfabeto griego, recogiendo las magnitudes decrecientes de las otras estrellas. Esta forma de nombrar las estrellas aún perdura hoy en día.
A lo largo del siglo XVII se fue completando el número de constelaciones registradas por diferentes astrónomos, como Jacob Bartsch, Johannes Hevelius, John Flamsteed y por último, a mediados de este siglo, ve la luz el ingente trabajo de Nicolás Louis Lacaille, astrónomo francés que realizó durante varios años sus observaciones desde la Ciudad del Cabo, en la actual República Sudafricana.
Con todas estas aportaciones individuales, en especial la de Lacaille que dio nombre a catorce nuevas constelaciones, las cartas estelares de los dos Hemisferios celestes quedaron ya definitivamente configuradas.
Para fijar su número definitivo en 88 constelaciones y delimitar su extensión por el cielo había que esperar hasta 1922, cuando la la Unión Astronómica Internacional se pronuncia sobre este tema, dando fin a la anarquía y desconcierto existente hasta entonces.



- Los planisferios celestes.

El número de planisferios elaborados uno por uno por mí, para los dos hemisferios y sin ningún tipo de impresión digitalizada en los mismos, han sido seis : dos para la latitud 40º, otros dos para 20º, otro que es visible por ambas caras del soporte, para los 0º, en la línea ecuatorial, el cual permite contrastar las diferencias de representación cartográfica para ambos hemisferios y, final-

mente otro más, para los 54º de latitud sur y 71º,28 de longitud oeste, sobre el que se han dispuesto todos los cuerpos del Sistema Solar potencialmente visibles la noche del 1 de noviembre de 1520 a las 0h de TU (las 4 h 45 m 8 s de tiempo local) .

Los sucesivos pasos de actuación que se han realizado para elaborar los planisferios han sido los siguientes :

1º.- Inventariar un catálogo de 643 estrellas, correspondientes a las 88 constelaciones de los dos hemisferios celestes. Cada estrella está registrada con su letra griega según el catálogo de Bayer y con sus coordenadas ecuatoriales de ascensión recta (α) y declinación (δ), en el marco referencial J2000.

2º.- Realizar sobre cada una de las estrellas del catálogo, las correcciones correspondientes a la precesión de los equinoccios, hasta obtener sus nuevas coordenadas ecuatoriales, (α' , δ'), para la fecha de la expedición magallánica, en concreto para el año de 1520.

3º.- Seleccionar las estrellas del catálogo pertenecientes al Hemisferio Norte, cuya nueva declinación (δ') no sea menor de $-45º$, y las correspondientes al Hemisferio Sur cuya declinación (δ') no sea mayor de $+45º$. Esto se justifica porque en los planisferios se representan todas las estrellas visibles para una latitud , $\varphi = \pm 45º$.

4º.- Hallar cuáles eran, en la época del Viaje, los puntos celestes correspondientes al Polo Norte (P. N.) y al Punto Aries (♈).

5º.- Representar sobre un plano cartesiano de papel milimetrado cada una de las estrellas correspondientes a los dos hemisferios, utilizando para ello la proyección cartográfica acimutal equidistante polar. Después unir con un segmento las estrellas correspondientes a cada constelación hasta lograr el asterismo característico de la misma.

6º.- Dibujar sobre el plano anterior la trama de paralelos y meridianos celestes correspondientes respectivamente a las coordenadas ecuatoriales de declinación (δ') y ascensión recta (α') de las estrellas obtenidas para el año de referencia, 1520.

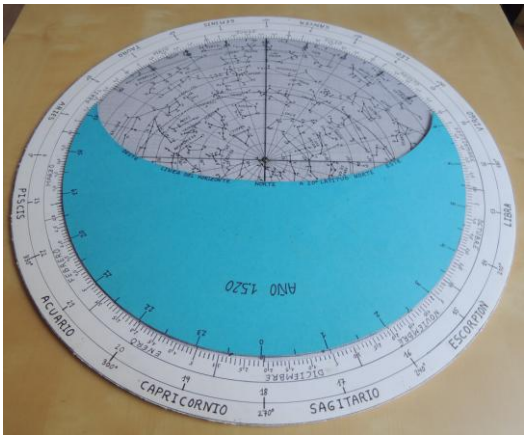
7º.- Diseñar y recortar la ventana móvil de cada uno de los planisferios, en función de la latitud de observación elegida.

8º.- Diseñar y recortar en papel pluma el soporte de cada planisferio, con los meses del año, los días, los ángulos horarios y los nombres de las constelaciones zodiacales.

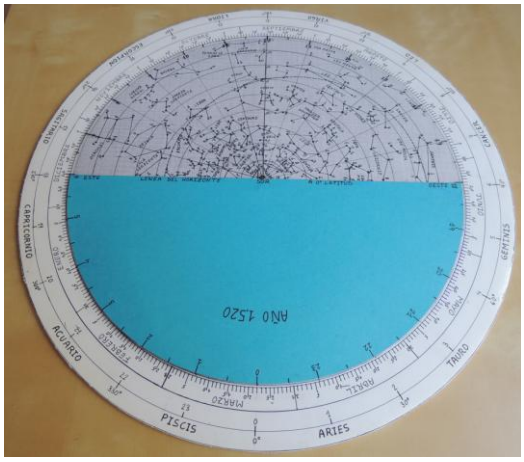
En el mapa de abajo se pueden ver las latitudes que corresponden a cada uno de los planisferios celestes elaborados, en relación con la ruta seguida durante el viaje de circunnavegación al mundo.

Planisferios celestes para el año de 1.520

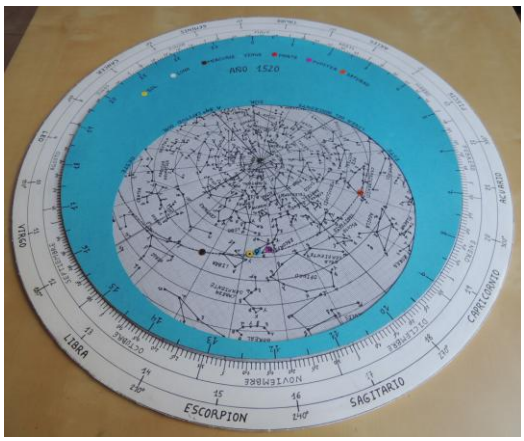
1º.- Para la latitud de 20º norte.



2º.- Para la latitud de 0º, (Ecuador).



3º.- Para la latitud de 54º sur, cuando se encontraban atravesando el Estrecho de Magallanes el día 1 de Noviembre a las 12 h de la noche.



Bibliografía

- Pigafetta, Antonio : " Primer viaje alrededor del mundo ". Col. Crónicas de América. Edit. Dastin, Madrid, 2002.
- de Acosta, José : " Historia natural y moral de las Indias ". Col. Crónicas de América. Edit. Dastin, Madrid, 2002.
- Colón, Cristóbal : " Diario. Relaciones de viajes ". Col. Biblioteca de la Historia, nº 15. Edit. Sarpe, Madrid, 1985.
- Vespucio, Américo : " El nuevo mundo. Viajes y documentos completos ". Col. Akal bolsillo. Edit. Akal, Madrid, 1985.
- Colón, Hernando : " Historia del Almirante ". Col. Crónicas de América nº 1. Edit. Historia 16, Madrid, 1984.
- Vicens Vives, J. : " Historia general moderna I ". Col. Vicens bolsillo. Edit. Vicens Vives, Barcelona, 1984.
- Fernández de Navarrete, Martín : " Colección de los viajes y descubrimientos que hicieron por mar los españoles desde fines del siglo XV "., tomos I, II, III, IV. Biblioteca virtual Miguel de Cervantes, 2016.
- De Mafra, Ginés : " Libro que trata del descubrimiento del Estrecho de Magallanes ". Publicaciones de la Real Sociedad Geográfica, Madrid, 1920.

- Von Humboldt, Alexander : " Cristóbal Colón y el descubrimiento de América ". Biblioteca virtual Miguel de Cervantes.
- Armada Española. Ministerio de Defensa. : " Revista de historia naval, nº 18 y 72 ".
- Cerezo Martínez, Ricardo : " La cartografía náutica española en los siglos XIV, XV, XVI ". Edit. CSIC, 1994.
- P.I. Bakulin, E.V. Kononovich, V.I. Moroz : " Curso de astronomía general ". Edit. MIR, Madrid, 1992.
- Meeus, Jean : " Astronomical algorithms ". Edit. Willmann - Bell, Inc. Richmond, Virginia, 1998.
- J.J. de Orús Navarro, M.A. Català Poch, J. Núñez de Murga : " Astronomía esférica y mecánica celeste ". Publicaciones y Ediciones de la Universidad de Barcelona, 2007.
- Anuario del Real Observatorio de Madrid, 2019. Instituto Geográfico Nacional, Madrid.

Recursos en Internet

- Efemeridesastronomicas.dyndns.org
- Sideral time calculator for any date, time and longitude. neoprogrammics.com
- Five millennium of lunar eclipses . − 1.999 to + 3.000. eclipse.gsfc.nasa.gov
- Conversor fecha y tiempo a día juliano. www.ugr.es
- Johann Müller Regiomontanus : " Ephemerides ". Biblioteca digital-centro de digitalización de Munich. daten.digitale-sammlungen.de
- Abraham Zacuto : " Almanaque perpetuo " . Catedranaval.com