

LA NAVEGACIÓN EN LA ÉPOCA DE LOS DESCUBRIMIENTOS

Juan José ACHÚTEGUI RODRÍGUEZ
Catedrático de CC y TT de la Navegación
Universidad de Cantabria

Consideremos la navegación como la técnica de gobernar un buque a lo largo de su derrota. La navegación profesional se fija siempre un objetivo previo al comienzo del viaje. Este objetivo puede consistir tanto en el transporte de una determinada mercancía o de pasajeros de un puerto a otro, como en la explotación de los recursos marinos o en la localización de un siniestro. La persecución de dicho objetivo se traduce en el progreso consiguiente del buque a través de las tres etapas que se indican en la ilustración que sigue.

1. *Planificación de la derrota* que permitirá alcanzar el objetivo. Esta derrota permitirá calcular distancias, establecer un plan de viaje y realizar ciertas previsiones temporales.

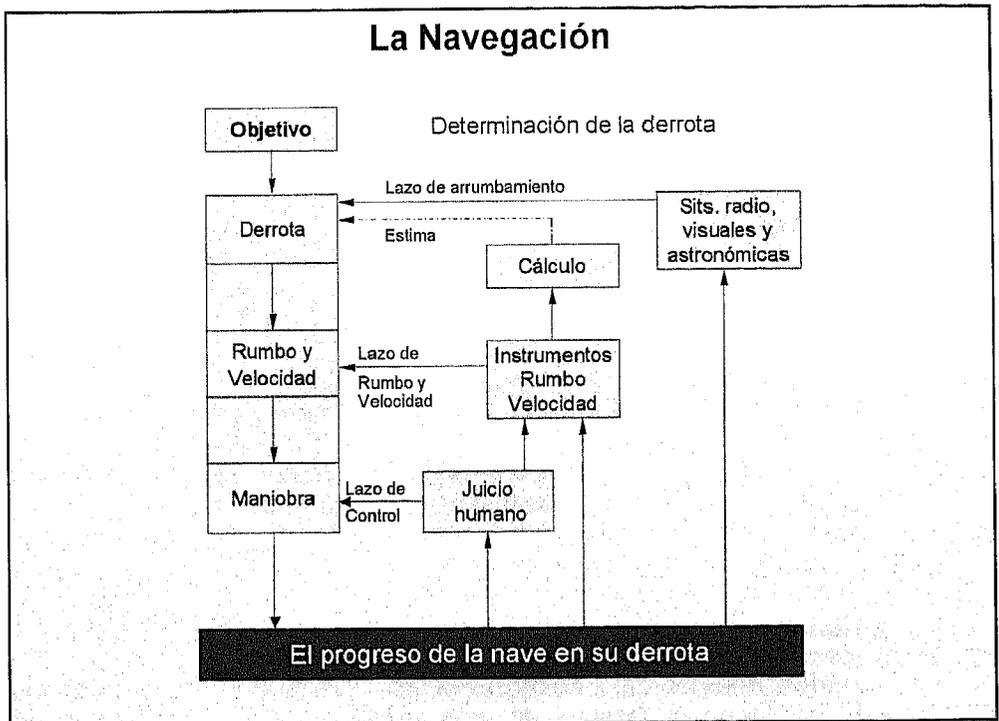


Fig. 1

2. *Rumbo y velocidad.* Para seguir la derrota y cumplir el plan de viaje, el buque ha de mantener un rumbo y una velocidad.

3. *Maniobra.* El control de los medios de propulsión que permite mantener un rumbo y alcanzar una velocidad.

El proceso de la navegación es comparable con el mantenimiento de una vara vertical en la palma de la mano. Los ojos siguen los movimientos de su parte superior y transmiten órdenes al cerebro, que mueve la mano para contrarrestar los movimientos de la vara en un proceso que se conoce como retroalimentación.

La circulación continua de información, acción y reacción del extremo de la vara a los ojos, de éstos al cerebro, al brazo, a la mano y al extremo de vara de nuevo es un buen ejemplo de un sistema de lazo cerrado. Es evidente que este sistema se corrige a sí mismo mediante un proceso de prueba y error. Por el contrario, si falta la retroalimentación el sistema se convierte en un lazo abierto y pierde la posibilidad de corregirse.

Un sistema de lazo cerrado consta a menudo de una serie de lazos concéntricos, siendo este caso característico de la navegación, que consiste, fundamentalmente, en los tres lazos que se muestran en la misma figura.

1. Lazo de arribamiento. El progreso del buque a lo largo de la derrota prevista se controla por medio de las ayudas a la navegación que permiten situar el buque con cierta frecuencia. Generalmente se trata de radioayudas, de marcas visuales o de observaciones astronómicas. Las desviaciones se van corrigiendo para mantener el buque en su derrota, a través de las etapas de rumbo y velocidad y de la de maniobra.

2. Lazo de Rumbo y velocidad. Los instrumentos de navegación indican y permiten el control del rumbo y de la velocidad a los que navega el buque. Se corrigen a intervalos frecuentes a través de la etapa de maniobra.

3. Lazo de control. En la navegación marítima, que generalmente se realiza a bajas velocidades, la maniobra se basa en el criterio humano.

En ocasiones —navegación a la vista—, el juicio humano también permite evaluar el rumbo y la velocidad. La figura también muestra que los instrumentos de rumbo y de velocidad permiten el cálculo de la situación estimada.

La estima permite situar el buque en el presente y también en el futuro, por lo que la planificación del viaje suele hacerse por estima. La navegación de estima ha tenido una gran importancia en el pasado pero, al tratarse de un sistema abierto, no se corrige por sí mismo. Cualquier error en el rumbo, en la velocidad o en el intervalo influirá permanentemente en la situación estimada.

A quienes conocemos la navegación moderna, a bordo de buques dotados de innumerables instrumentos capaces de sustituir al hombre, si tal proceder fuera económicamente rentable y jurídicamente defendible, nos resulta difícil imaginar las condiciones que tuvieron que soportar y sufrir quienes nos precedieron en el ejercicio de esta compleja profesión.

Hoy en día, resultan triviales y de solución inmediata la mayor parte de los problemas con que se enfrentaron los marinos del Renacimiento. En los puentes actuales, dotados de sondadores de eco, correderas electromagnéticas, cuando no Doppler, radares de gran sofisticación, que resuelven de manera inmediata y hartamente satisfactoria la mayor parte de las situaciones que

presentan riesgo de abordaje, sistemas de navegación por satélite que sustituyen con ventaja a todas las radioayudas que los precedieron, cartas de navegación electrónicas que pueden, incluso, integrar toda la información procedente del radar y del GPS, sistemas de comunicaciones por satélite en alta mar o telefónicos de similar eficacia en las proximidades de la costa; puentes siempre abrigados y con frecuencia dotados de aire acondicionado que resguardan a los marinos y a los equipos de toda inclemencia, resulta imposible darse cuenta de las enormes penurias, dificultades e incertidumbres con que se realizaron los viajes marítimos que descubrieron las verdaderas dimensiones y la configuración de nuestro planeta. Sin embargo, tras algunas lecturas y un somero análisis de los conocimientos de la época, la realidad se presenta ante nuestros ojos con una enorme crudeza.

SISTEMA DE PTOLOMEO

- La Tierra se encuentra en el centro del universo
- La Tierra es inmóvil
- Todos los cuerpos celestes giran alrededor de la Tierra
- El movimiento de los cuerpos celestes se realiza sobre circunferencias a velocidad uniforme

Las dificultades no eran, únicamente, de índole técnica sino incluso filosófica y religiosa. No sólo la ciencia oficial, sino también las creencias religiosas resultaban contrarias a una concepción del universo que precisaba liberarse de ataduras seculares y adquirir nuevas dimensiones.

Ni siquiera se cuestionaba la concepción geocéntrica del Universo de Ptolomeo (s. II d.C.), ya que Copérnico no había publicado todavía la obra que supondría el despertar de la nueva Astronomía. La Fig. 2 explica la persistencia del modelo durante catorce siglos.

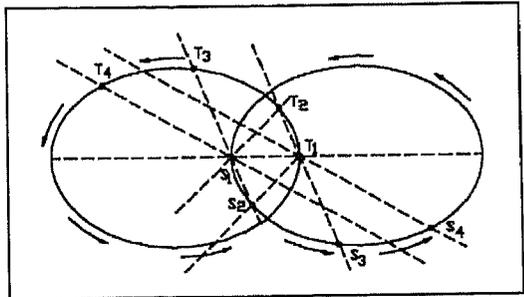


Fig. 2: Reciprocidad de los movimientos Tierra-Sol

Habiendo definido ya las distintas etapas de la navegación, resulta evidente que los dos problemas básicos a los que tiene que responder el navegante son los de la situación del buque y la orientación de la derrota. La determinación de la situación del buque, con la mayor exactitud posible, resulta fundamental, tanto para evitar los peligros existentes en la derrota como para detectar y corregir las desviaciones que, durante la navegación, se produzcan con respecto a la misma. De la orientación hablaremos más adelante.

La situación de un buque en la mar viene determinada por sus coordenadas geográficas y se muestra gráficamente en una carta de navegación. El cálculo de la primera, la latitud, ya era factible para los navegantes de la Antigüedad. Sin embargo, el cálculo de la longitud se resistió hasta bien entrado el XVIII. Es más, durante siglos, se consideró como el límite impuesto por Dios a la capacidad intelectual del hombre.

La situación de un buque en la mar viene determinada por sus coordenadas geográficas y se muestra gráficamente en una carta de navegación. El cálculo de la primera, la latitud, ya era factible para los navegantes de la Antigüedad. Sin embargo, el cálculo de la longitud se resistió hasta bien entrado el XVIII. Es más, durante siglos, se consideró como el límite impuesto por Dios a la capacidad intelectual del hombre.

No resulta aventurado afirmar que si la Astronomía resultó la ciencia dominante fue, precisamente, porque en ella se apoyaban todos los conoci-

mientos necesarios para la resolución del complicado problema, junto con una rigurosa aplicación del cálculo matemático y la invención de los instrumentos adecuados para la medición de ángulos a bordo, con el auxilio imprescindible de la Cartografía y de la Cronometría.

Es evidente que entre tal maraña de conocimientos, tanto científicos como técnicos, unos han tenido mayor relevancia que otros en diferentes épocas. Desde el procedimiento empleado por Noé para encontrar tierra después del Diluvio que nos relata la Biblia –la paloma– hasta los métodos utilizados hoy en día por medio de satélites artificiales, es indudable la relación existente entre los métodos náuticos de situación del buque y el conocimiento científico general de la época. Fue necesario, pues, para la resolución definitiva del problema que nos ocupa, que las distintas ciencias y técnicas, y en particular la Astronomía, alcanzaran un grado de madurez suficiente para que la aplicación práctica de los principios generales de aquélla permitieran el cálculo de la longitud de una manera conveniente y adecuada a los medios existentes a bordo de los buques de la época. Tal madurez no se alcanzó hasta bien avanzado el s. XVIII e incluso la polémica encendida por los distintos métodos utilizados para resolver el problema no se resolvió definitivamente hasta finales del s. XIX.

El conocimiento de los movimientos relativos del Sol, la Luna, los planetas y las estrellas, adquirido a través de laboriosas observaciones, ha constituido la base para que las civilizaciones más antiguas de que tenemos noticia determinasen la hora, las estaciones del año y la dirección de sus movimientos.

En el Antiguo Testamento se hacen numerosas referencias a los fenicios de Tiro y Sidón y a sus habilidades, tanto náuticas como comerciales. Hay todo tipo de razones que hacen pensar que sus conocimientos náuticos estaban basados en las observaciones astronómicas de los babilonios (1000 a.C.).

Aunque se desconoce con exactitud la época de Homero (de 1.200 a 700 a.C.), en la Odisea ya se hace referencia al empleo de Ulises de algunas constelaciones como ayuda a la navegación, en particular las Pléyades, Orión y la Osa Mayor.

En el año 610 a.C. Heródoto relata que buques fenicios, durante el reinado del faraón Nekao, atravesaron el Mar Rojo, rodearon África y entraron en el Mediterráneo a través de las columnas de Hércules, descubriendo al tiempo las Islas Canarias. Esta primera circunvalación de África caería en el olvido.

Los astrónomos babilonios fueron los primeros en determinar la duración del año observando las estrellas zodiacales, las fases de la Luna y en predecir algunos acontecimientos astronómicos como los eclipses. También se cree que fueron los primeros en agrupar estrellas, formando constelaciones.

A finales del s. VII a.C. Tales de Mileto llevó a Grecia los conocimientos astronómicos aprendidos en Egipto que a su vez fueron tomados de Babilonia, desarrollándose en Grecia, a partir de este momento, tanto la Astronomía como otras ciencias con un vigor extraordinario.

Parece que el primer precursor de la forma esférica de la Tierra fue Parménides en el s. V a.C. Este concepto esférico de la Tierra fue trasladado al firmamento, suponiendo que todas las estrellas se encontraban fijas en una esfera celeste. También se supuso a los demás astros fijos en su esfera respectiva, siendo la Tierra el centro común a todas ellas.

A los griegos se debe la primitiva concepción del calendario actual y de las numerosas reformas tendentes a compensar los desfases creados al no contar los años un número exacto de días.

Observando las distintas longitudes de las sombras proyectadas por nomones iguales en Siena y en Alejandría en el solsticio de verano, Eratóstenes (276-196 a.C.) llegó a determinar la longitud del meridiano terrestre. También calculó con gran exactitud la oblicuidad de la eclíptica.

La aparición de una nova sugirió a Hiparco (160 a.C.) la elaboración del primer catálogo de estrellas, ordenándolas según los valores de su declinación y su ascensión recta. Aunque el cálculo de la latitud ya era posible antes de Hiparco, con su catálogo se simplificó considerablemente. Sin embargo, como ya se ha dicho el cálculo de la longitud tardaría casi dos mil años en resolverse. También se considera a Hiparco inventor de la Trigonometría y dio un gran impulso a la idea de determinar las situaciones en la Tierra por métodos astronómicos, ligando la Geografía a la Astronomía.

Claudio Ptolomeo (150 d.C.), en su obra más conocida por su nombre árabe *Almagesto*, recopiló y sistematizó el conocimiento geográfico y astronómico de su época. Sin embargo, Ptolomeo es más conocido por la concepción de nuestro sistema planetario que lleva su nombre. Imaginó a la Tierra en el centro del mismo, con el Sol y la Luna describiendo órbitas circulares a su alrededor que coincidían con el plano de la Eclíptica. Las órbitas de los planetas eran un conjunto de deferentes y epiciclos que explicaban de manera bastante convincente sus movimientos aparentes. Las estrellas se hallaban fijas a la esfera celeste que giraba alrededor de la Tierra en sentido inverso. Debido a lo adecuado de tal sistema para predecir los fenómenos astronómicos, esta concepción del sistema solar sobrevivió más de quince siglos a pesar de sus grandes errores. Fue necesario esperar a Copérnico, Kepler y Tycho Brahe para demostrar lo erróneo de dicha concepción.

A partir de este instante parecía que lo único que podían hacer los astrónomos era observar cuidadosamente para determinar con más exactitud los períodos de revolución de los cuerpos celestes.

A pesar de que el saqueo de Alejandría por los árabes en el año 642 supuso la destrucción total de su valiosísima biblioteca, la búsqueda del conocimiento ocupó un lugar preferente en la cultura árabe y sus traducciones de las principales obras griegas fueron las responsables del nivel tan elevado que alcanzaron las ciencias durante su época de esplendor.

Su gran interés por la Astronomía se refleja en la gran cantidad de estrellas que llevan nombre árabe: Aldebarán, Algol, Mizar, Alphard, etc. Otra contribución de los árabes de enorme interés científico, como ya se ha dicho, es el actual sistema de numeración que supone una notable simplificación con respecto al romano.

El legado árabe preparó el camino del Renacimiento europeo. Las Universidades medievales y las órdenes monásticas dedicaron gran parte de sus actividades a profundizar en el conocimiento filosófico-científico, en parte para combatir las numerosas herejías de la época.

En 1252 Alfonso X el Sabio patrocinó, a través de la Escuela de Traductores, la publicación de las "Tablas Alfonsinas", calculadas por un equipo de cincuenta judíos toledanos a partir de observaciones árabes y utilizando la notación de estos últimos. La gran difusión que alcanzaron estas

tablas es responsable, en gran parte, de que aquélla fuera universalmente conocida y adoptada.

John Muller (Regiomontano) (1436-1476) descubrió algunos errores en la obra de Alfonso X y se dedicó a mejorar los métodos de observación para el perfeccionamiento de las tablas. Sus trabajos fueron de gran valor en manos de los protagonistas de los viajes de descubrimiento iniciados por los portugueses bajo los auspicios de Enrique el Navegante.

Copérnico (1473-1543), en su gran obra titulada *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, apuntaba que todo cambio en la posición de astro se debe al movimiento del astro, del observador, o de ambos; y que si la Tierra posee movimiento propio, éste se debe percibir en cualquier cuerpo celeste, cuyo movimiento será de igual magnitud pero de sentido opuesto al real de la Tierra. Copérnico consideró el Sol como centro del sistema, y a la Tierra como uno más de los planetas.

Como ejemplo del clima intelectual de la época y de la enorme influencia que la jerarquía eclesiástica ejercía sobre los aspectos científicos, citaremos al propio Copérnico en el prefacio de sus *Revoluciones*, dirigido al Pontífice Pablo III: "Santísimo Padre, puedo estimar suficientemente lo que sucederá en cuanto algunos aprecien, en estos libros míos, que he escrito acerca de las revoluciones de las esferas del mundo, que atribuyo al globo de la tierra algunos movimientos y clamarán para desaprobarme por tal opinión. Pues no me satisfacen hasta tal punto mis opiniones, como para no apreciar lo que otros juzguen de ellas... Considerando, pues ... el desprecio que yo debía temer a causa de la novedad y absurdo de mi opinión, casi me había empujado a interrumpir la obra ya organizada ... Pero los amigos me hicieron cambiar de opinión ... el cardenal de Capua, ... el obispo de Culm. Éste me exhortó muchas veces y, añadiendo con frecuencia los reproches, insistió para que publicara este libro y le dejara salir a la luz, pues retenido por mí había estado en silencio, no sólo nueve años, sino ya cuatro veces nueve..." Copérnico falleció el mismo año de su publicación lo que, probablemente, le ahorró algunos sinsabores. Como anécdota, citaremos que esta obra no fue íntegramente traducida y publicada en España hasta 1982.

A pesar de lo acertado de su concepción del Universo, Copérnico se encontró con grandes dificultades a la hora de hacer concordar su teoría con la realidad, ya que estaba persuadido de que las órbitas planetarias habían de ser circulares.

En 1514 John Werner, de Nuremberg, considerado como el mejor astrónomo de su época, fue el primero en sugerir que la longitud podría determinarse midiendo el ángulo formado por la Luna y una estrella situada en el plano de su órbita. En este sentido sostuvo que, si se dispusiera de predicciones exactas de la situación de la Luna con respecto a un meridiano de referencia, se podría determinar la hora de dicho meridiano, y que la diferencia entre dicha hora y la hora local sería la diferencia entre las longitudes del meridiano de referencia y el del lugar. Este fue el método aceptado universalmente tan pronto como se dispuso de tablas para predecir con exactitud el movimiento de la Luna (1765).

Gemma de Frisia (1510-1555), en un tratado titulado *De Principiis Astronomiae et Cosmographiae* impreso en Amberes en 1530 recomendaba el uso de un reloj para conservar la hora del meridiano de referencia. Este

fue el método que tuvo que demostrar su superioridad con respecto al mencionado en el párrafo anterior, cuando la relojería alcanzó la precisión necesaria.

En 1545 apareció en Valladolid el tratado de Pedro de Medina titulado *Arte de Navegar*. En 1551 se publicó en Sevilla el *Breve Compendio de la Sphera y de la Arte de Navegar con Nuevos Instrumentos y Reglas* de Martín Cortés. Ambas obras fueron profusamente traducidas y alcanzaron gran difusión.

Las extraordinarias dotes de observador de que hizo gala el astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1630), en especial del planeta Marte, sentaron las bases que permitieron a Johannes Kepler (1.571-1.630) enunciar las leyes que llevan su nombre y que rigen el movimiento planetario. Se dice que, tratando de hacer coincidir las observaciones de Tycho Brahe con la teoría copernicana, descubrió una discrepancia de 8' en la órbita de Marte, y dijo: "Partiendo de estos 8' enunciaré una nueva teoría que explicará los movimientos de todos los planetas". Su descubrimiento de que las órbitas de los planetas eran elípticas y de que el Sol ocupaba un foco común a todas ellas resultó de extraordinaria importancia.

Galileo Galilei (1564-1642) descubrió el isocronismo del péndulo, y este descubrimiento, en manos del holandés Huyghens, condujo a la invención del reloj de péndulo. Galileo fue el primero en emplear un telescopio para la observación astronómica, descubriendo los cuatro satélites más importantes de Júpiter, y en respuesta a un generoso premio del rey de España Felipe III, ofrecido en 1598 a quien descubriese un método para calcular la situación de un buque en alta mar, apuntó la posibilidad de su empleo si se pudiesen tabular sus situaciones con respecto a un meridiano de referencia. Fue procesado y obligado a rechazar su defensa del heliocentrismo de Copérnico en 1633.

Isaac Newton (1642-1727), considerado como el genio de su época, descubrió la gravitación universal y las leyes cinemáticas. Después de su enunciado, estudió algunas de sus consecuencias: explicó las leyes de Kepler, la precesión de los equinoccios, la forma elíptica de la Tierra antes de su comprobación práctica y una teoría de las mareas que lleva su nombre.

Hasta que no se alcanzó este grado de conocimiento no fue posible abordar seriamente el problema de la determinación de la situación de un buque en alta mar que, como ya hemos visto, constituye una operación fundamental para el buen éxito de la navegación. Las leyes de la mecánica celeste permitieron, por primera vez en la historia, la predicción de los movimientos de los cuerpos celestes, y en especial de la Luna, con la exactitud suficiente para la publicación de sus coordenadas con algunos años de antelación. De esta manera, en 1765 vio la luz en Londres, el primer "Almanaque Náutico" para el año 1767. A pesar de ello, las complicadas y larguísimas operaciones matemáticas de cálculo que requerían estos métodos dificultaron su empleo por la mayor parte de los marinos hasta bien entrado el s. XIX.

Tras este apresurado, aunque conveniente, recorrido por el desarrollo de la ciencia náutica, volvemos a la época del Renacimiento español. De todos estos medios necesarios para el correcto desempeño de la navegación, ¿con qué contaban los marinos de los descubrimientos? En verdad, con poca cosa. En primer lugar, el objetivo de sus navegaciones estaba bien definido económica y políticamente pero, técnicamente, era muy difuso: buscaban una ruta hacia las especias por el oeste.

Con la caída del Imperio bizantino en manos de los otomanos en 1453, las relaciones comerciales de Occidente con la India y China a través del Mar Rojo y del Mediterráneo oriental, se vieron seriamente perjudicadas, y las ventajas adquiridas anteriormente por Venecia durante su privilegiada asociación con Bizancio forzaron a los reinos ibéricos a probar fortuna por dos vías diferentes. Portugal intentaría circunvalar África en sentido contrario al de los fenicios de Nekao, y Castilla intentaría el gran salto oceánico. Tanto una empresa como la otra dependían de la esfericidad de la Tierra que, en aquellos momentos, distaba mucho de ser una verdad asumida con naturalidad.

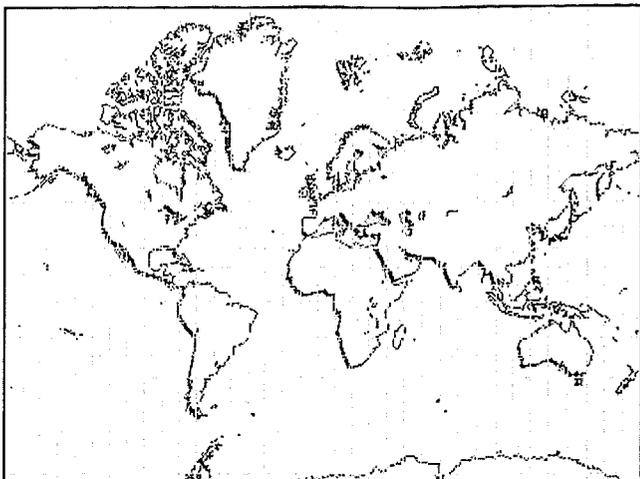


Fig. 3: Mapamundi en proyección mercatoriana

Como vemos ya tenemos el objetivo pero, la planificación de la derrota ¿cómo la realizamos? Conocemos mal que bien las coordenadas de salida, pero ¿las de llegada? Ni los portugueses ni los españoles tenían la certeza de que llegarían a parte alguna.

Recordemos los requisitos de la navegación:

1. *Planificación de la derrota.* Para lo que resulta imprescindible disponer de la situación del punto de destino, situación que viene determinada en la carta de navegación o por sus coordenadas. Ninguna de ellas estaba disponible. No era posible calcular ni la distancia ni la duración del viaje. Al menos, basándose en datos bien conocidos. La mayor parte de la cartografía anterior al primer viaje de Colón se adentraba unas pocas millas al oeste de las Azores y resultaba totalmente inútil. Más allá, a pesar de los rumores, lo desconocido.

Con respecto a las posibilidades de situación del buque, para medir el progreso de la derrota, aunque insistiremos en el tema más adelante, basta decir que de las dos coordenadas, tan sólo la latitud estaba disponible y aún así con instrumentos muy rudimentarios, que impedían la exactitud que se conseguiría mucho tiempo después. La longitud era siempre estimada y, dada la dificultad de determinar con cierta precisión la derrota efectiva del buque, su valor sufría grandes errores.

2. *Rumbo y velocidad.* La aguja náutica ya era bien conocida y universalmente empleada, pero se ignoraban las características del campo magnético terrestre que tan notable influencia tiene sobre las agujas, por lo que los rumbos estimados estaban afectados de errores considerables. En cuanto a la medición de la velocidad, los instrumentos dedicados al efecto eran muy rudimentarios.

3. *Maniobra.* La propulsión a vela resulta de una eficacia muy irregular. Además, se ignoraban totalmente los regímenes de vientos dominantes que,

como conocían bien los portugueses, imponían su ley obligando a grandes desvíos de la derrota directa para mejor aprovechar los vientos.

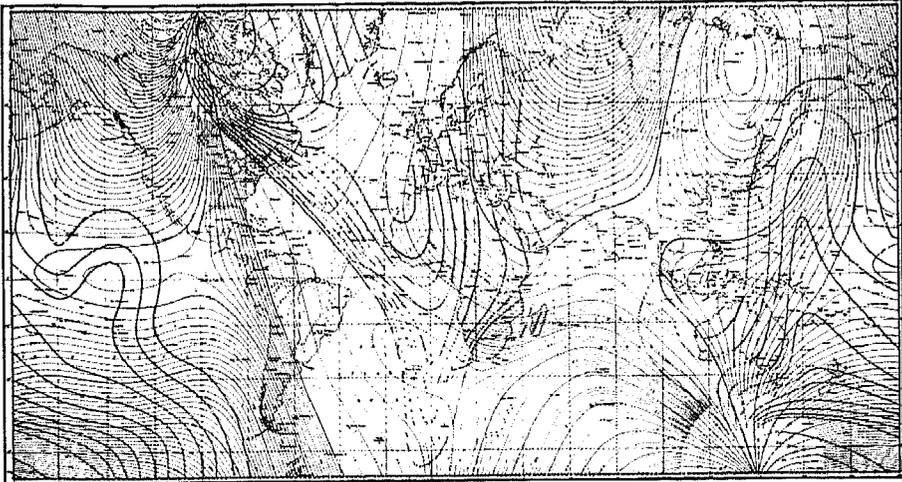


Fig. 4: Campo magnético terrestre. Curvas de igual declinación magnética

El tercer hijo del rey Juan I de Portugal, el infante D. Enrique el Navegante, apelativo que se debe más al impulso que dio a la navegación que a su actividad como tal, supo impulsar con gran vigor la exploración de la costa africana.

Este tipo de navegación, a pesar del enorme mérito de adentrarse en mares absolutamente desconocidos, resultaba notablemente más sencillo que la única alternativa que le quedaba a Castilla. La navegación a lo largo de la costa africana se efectuaba básicamente en sentido norte-sur. Los cambios de longitud no eran muy cuantiosos, por lo que la dificultad de su cálculo no constituía un obstáculo insuperable. La latitud se obtenía de la manera acostumbrada, por meridiana de Sol de día y por la Polar de noche, hasta que se alcanzaron las proximidades del Ecuador, aproximadamente en 1471.

Los descubrimientos españoles, por otra parte, se realizaron navegando fundamentalmente en sentido este-oeste, donde los cambios de latitud eran escasos, y de gran envergadura los de longitud.

Paolo del Pozzo Toscanelli (1397-1482), médico, astrónomo, geógrafo y matemático florentino, humanista de gran erudición, a través de sus numerosas lecturas llegó a la conclusión de que el conjunto de la superficie terrestre cubierto por mar era mucho menor de lo que creía Ptolomeo. Al parecer, Toscanelli escribió al rey Alfonso V de Portugal, adjuntando un mapa con las dimensiones que, según creía, tenía la Tierra, y sugiriéndole que la navegación hacia el oeste permitiría alcanzar la India mucho antes que circunvalando África, empeño que ya habían acometido los portugueses. El rey portugués convocó a sus asesores, que rechazaron la sugerencia de Toscanelli, al considerar erróneas sus deducciones.

Existen dudas acerca de cómo llegó a Colón la teoría de Toscanelli. Las Casas relata que Colón escribió al florentino y que, incluso, le envió una "esfera", al parecer con una concepción colombina del globo terráqueo. Otros

defienden que esta correspondencia jamás existió y que Colón tuvo acceso a la información de Toscanelli a través de sus influencias en la corte portuguesa. Sea como fuere, Colón hizo suyo el plan de Toscanelli y dedicó todos sus esfuerzos a buscar un patrocinador que le permitiese ponerlo en práctica.

Fracasados sus esfuerzos en Portugal, Colón lo intentó en España. Nuestro país contaba con navegantes y buques del mismo nivel que los portugueses, aunque no con su competencia técnica ni estaba implicado en una política de expansión marítima. Los Reyes Católicos tenían como prioridad la conquista de Granada y no prestaron excesiva atención a las pretensiones del genovés que, tal vez por miedo a que alguien se le adelantase, no daba explicaciones muy convincentes de su proyecto.

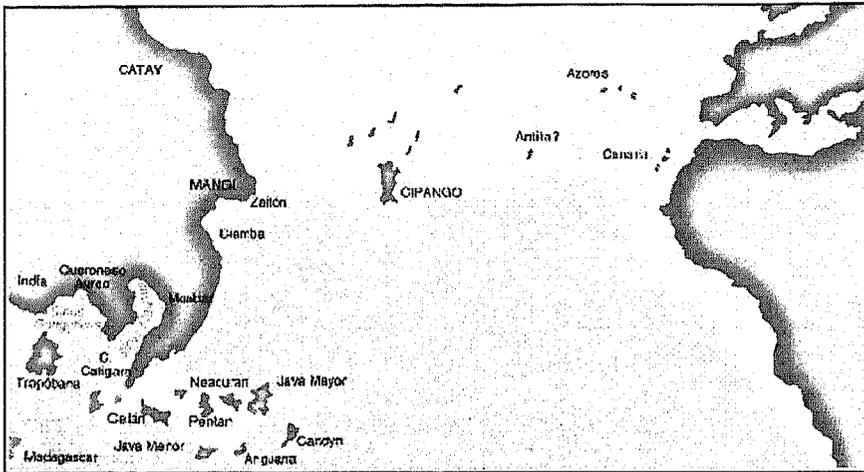


Fig. 5: Reproducción de la carta de Toscanelli (~1460) [3]

Cuando Bartolomé Díaz regresó, en 1488, después de haber superado el Cabo de Buena Esperanza, último obstáculo hasta la India, Colón reactivó sus negociaciones. Sin romper sus negociaciones con los Reyes Católicos, destacó a su hermano Bartolomé hasta la corte inglesa, reanudó sus contactos con la portuguesa de Juan II y hasta ofreció sus servicios a Francia. Al parecer, las desmedidas pretensiones del descubridor no despertaban grandes entusiasmos en ninguno de los monarcas, aunque finalmente consiguió interesar a Isabel, una vez finalizada la guerra de Granada.

El Almirante ya indica en su diario que se dispone a surcar mares nunca navegados. En un manuscrito que se conserva en la Real Academia de la Historia, y que se le atribuye, dice que los Reyes "enviaron al su Almirante a tentar y descubrir las Indias, islas y tierras firmes del fin del Oriente, navegando de España al Poniente, por el mar Océano, el cual camino nadie jamás navegó". Y aquí confirmamos la diferencia entre las navegaciones portuguesas, meritorias sin duda, y las mucho más arriesgadas de los españoles. Los primeros tenían la costa africana a la vista día tras día y cuando la perdían sabían cómo navegar para volverla a encontrar. Los segundos no tendrían tierra alguna a la vista durante todo el viaje, cuya duración a duras penas se atrevían a adivinar.

Lo que sabemos del plan de navegación de Colón era que consistía en hacer escala en Canarias para reparar y aprovisionarse y continuar navegando al oeste, manteniéndose en el paralelo del archipiélago que es el de 28° N, hasta encontrar tierra. En otras palabras, pretendía poner en práctica el conocido dicho mariner: "paralelo corriendo, tierra encontrando". Cuando los vientos, o los pretendidos indicios de tierra le obligan a separarse de dicho paralelo, vuelve a él con notable insistencia, existiendo diversas interpretaciones a esta aparente obstinación.

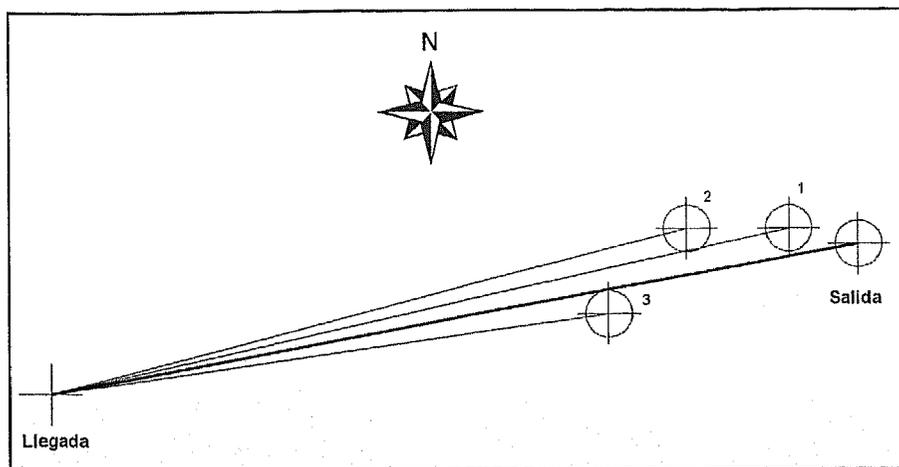


Fig. 6: Control de la derrota

Analicemos ahora los medios que se encontraban a disposición de los descubridores para orientar y situar sus naves durante la navegación al Nuevo Mundo. Ya hemos hecho referencia a la aguja magnética, introducida en Europa alrededor de 1200. Sin embargo, el cambio de valor de la declinación magnética con la longitud era totalmente desconocido. De hecho, éste fue uno de los descubrimientos de Colón de mayor trascendencia para la navegación, que le hubiera hecho famoso aunque no hubiese culminado con éxito su viaje. Esta variación, introducía un error de más de 11° en el rumbo al que se navegaba, lo que hubiera dirigido a los descubridores directamente hacia Cuba o Haití, si Colón no hubiese controlado los errores del compás con la estrella Polar. De todas maneras, Colón se equivocó de plano al intentar explicar el fenómeno, que atribuyó a una mezcla de factores atmosféricos, térmicos y al movimiento de la estrella. Martín Cortés, en su *Compendio* introduce por primera vez el concepto de polo magnético.

Vemos pues que si bien de noche, con auxilio de la Polar, se podía controlar mejor el rumbo verdadero, al no poder hacerlo de día, se producían errores de valor desconocido en el rumbo estimado. Estos errores eran acumulativos, por lo que las situaciones de estima se veían plenamente afectadas.

Al no haber costa a la vista, el único método disponible para situar la nave era el firmamento. Pero ya hemos visto que el cálculo de la longitud se retrasaría todavía casi tres siglos, por lo que únicamente podían calcular la latitud, por altura meridiana de Sol durante el día, y por la Polar de noche.

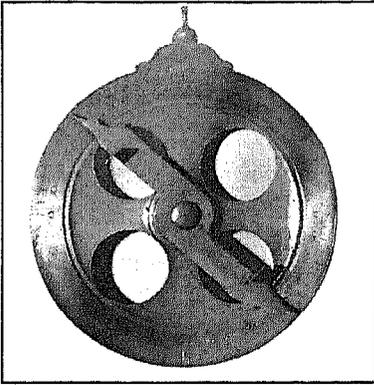


Fig. 7: Astrolabio [3]

Emplearan un astrolabio o un cuadrante, resulta difícil imaginar que las observaciones con instrumentos tan toscos, a bordo de una plataforma móvil tuvieran errores inferiores a un par de grados en la altura, aunque más probablemente rondarían los 5°. Tales errores en la altura solar supondrían errores de 120 a 300 millas en la latitud (es decir, de 200 a 500 km, en números redondos). Al no conocer con exactitud la latitud de destino, no sería justo considerar unos errores tan abultados bajo la óptica actual.

Es más que probable que los descubridores dispusiesen de alguna edición de las Tablas de Alfonso X, que proporcionaban la declinación del Sol a diario. A partir de 1496 se dispuso del

"Almanaque Perpetuo", una versión más perfeccionada, del judío salmantino Abraham Zacuto que se vio obligado a emigrar a Portugal tras el decreto de expulsión. La edición original, en hebreo, tuvo escasa difusión, pero su discípulo, también judío, José Vizinho, las tradujo al latín. La hora local se calculaba por observaciones de Sol, de día, y de la Osa Menor, de noche. Estas obras prepararon el camino de las de Faleiro, Pedro Núñez y, sobre todo, a las de Pedro de Medina y Martín Cortés que tuvieron una difusión tal que se puede afirmar, como lo hace el profesor López Piñero, que Europa aprendió a navegar en libros españoles.

Y ¿la longitud? Su cálculo con precisión no era posible, pero Colón demostró sobradamente su capacidad y pericia para calcularla por estima. Para los menos conocedores de la navegación, recordemos que la situación de estima consiste en calcular sus coordenadas basándose en una situación de salida, en el rumbo y en la distancia navegada. Si estos últimos eran erróneos, la situación estimada también lo sería. Colón podía evaluar los errores cometidos en la estima de la latitud, pero su longitud sería siempre estimada. Y ¿con qué orden de precisión? Ya hemos visto los problemas que tuvo que resolver para determinar el rumbo al que navegaba con alguna precisión, pero es dudoso que dispusiese de instrumento alguno para evaluar la distancia navegada. El único método que podía emplear era la evaluación de la velocidad y del tiempo transcurrido. No es nada sencillo estimar con exactitud la velocidad cuando se navega a vela, ya que ésta es esencialmente variable. Las primeras correderas dignas de tal nombre no aparecieron hasta el s. XVII, así que suponemos que Colón emplearía algún pequeño flotador, lanzándolo por la borda y

(Tablas Solis certis)

Annuua saluigeru 1475

| Quintana | Martius | | Aprilis | | Maius | | Iunius | | Iulius | | Augustus | | | | | | | | |
|----------|---------|----|---------|----|-------|----|--------|----|--------|----|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | R | M | R | M | R | M | R | M | R | M | R | M | | | | | | | |
| 1 | 19 | 57 | 13 | 21 | 19 | 22 | 26 | 18 | 56 | 25 | 37 | 11 | 7 | 3 | 57 | | | | |
| 2 | 20 | 57 | 13 | 21 | 22 | 43 | 10 | 19 | 55 | 24 | 36 | 24 | 14 | 18 | 1 | 36 | | | |
| 3 | 21 | 56 | 47 | 22 | 32 | 7 | 21 | 17 | 24 | 30 | 50 | 26 | 10 | 21 | 17 | 18 | 59 | 15 | |
| 4 | 22 | 56 | 15 | 23 | 20 | 27 | 12 | 14 | 43 | 31 | 47 | 27 | 20 | 15 | 21 | 10 | 56 | 55 | |
| 5 | 23 | 55 | 5 | 24 | 18 | 47 | 13 | 12 | 21 | 32 | 44 | 28 | 11 | 15 | 25 | 20 | 54 | 57 | |
| 6 | 24 | 55 | 5 | 25 | 17 | 7 | 24 | 9 | 49 | 33 | 41 | 30 | 12 | 12 | 31 | 22 | 52 | 19 | |
| 7 | 25 | 54 | 30 | 16 | 15 | 19 | 25 | 7 | 13 | 24 | 38 | 31 | 13 | 9 | 38 | 22 | 50 | 1 | |
| 8 | 26 | 53 | 45 | 17 | 13 | 30 | 16 | 4 | 26 | 35 | 35 | 32 | 14 | 4 | 45 | 23 | 47 | 51 | |
| 9 | 27 | 53 | 10 | 28 | 11 | 41 | 17 | 2 | 0 | 26 | 32 | 34 | 25 | 3 | 50 | 24 | 45 | 41 | |
| 10 | 28 | 52 | 1 | 29 | 9 | 47 | 17 | 59 | 19 | 17 | 29 | 36 | 16 | 1 | 7 | 25 | 43 | 51 | |
| 11 | 29 | 51 | 23 | 08 | 7 | 50 | 18 | 56 | 33 | 13 | 24 | 38 | 28 | 58 | 19 | 26 | 41 | 23 | |
| 12 | 30 | 50 | 30 | 1 | 5 | 54 | 19 | 55 | 27 | 29 | 23 | 39 | 37 | 55 | 31 | 27 | 39 | 16 | |
| 13 | 1 | 49 | 38 | 2 | 5 | 51 | 08 | 5 | 13 | 08 | 10 | 49 | 28 | 52 | 45 | 23 | 37 | 9 | |
| 14 | 2 | 48 | 37 | 3 | 1 | 48 | 1 | 4 | 8 | 29 | 1 | 17 | 41 | 29 | 50 | 0 | 29 | 35 | 12 |
| 15 | 3 | 47 | 35 | 3 | 59 | 44 | 2 | 4 | 5 | 44 | 2 | 14 | 43 | 06 | 47 | 18 | 27 | 33 | 15 |
| 16 | 4 | 46 | 33 | 4 | 57 | 35 | 3 | 4 | 5 | 56 | 3 | 11 | 43 | 1 | 44 | 37 | 1 | 31 | 19 |
| 17 | 5 | 45 | 29 | 5 | 55 | 26 | 4 | 4 | 0 | 4 | 44 | 2 | 4 | 1 | 46 | 2 | 29 | 24 | |
| 18 | 6 | 44 | 19 | 6 | 55 | 17 | 5 | 3 | 7 | 19 | 5 | 4 | 41 | 3 | 39 | 17 | 5 | 27 | 30 |
| 19 | 7 | 43 | 12 | 7 | 51 | 3 | 6 | 3 | 4 | 23 | 6 | 2 | 47 | 4 | 36 | 28 | 4 | 24 | 36 |
| 20 | 8 | 42 | 0 | 8 | 48 | 48 | 7 | 3 | 27 | 6 | 59 | 0 | 5 | 4 | 34 | 0 | 5 | 23 | 55 |
| 21 | 9 | 40 | 4 | 9 | 46 | 33 | 8 | 2 | 3 | 44 | 7 | 5 | 50 | 6 | 31 | 17 | 6 | 22 | 14 |
| 22 | 10 | 39 | 29 | 10 | 44 | 13 | 9 | 2 | 5 | 5 | 5 | 51 | 7 | 28 | 55 | 7 | 20 | 32 | |
| 23 | 11 | 38 | 11 | 11 | 41 | 4 | 10 | 2 | 5 | 0 | 5 | 50 | 8 | 26 | 19 | 8 | 18 | 55 | |
| 24 | 12 | 36 | 5 | 12 | 39 | 33 | 11 | 19 | 59 | 10 | 4 | 5 | 47 | 9 | 23 | 47 | 0 | 17 | 17 |
| 25 | 13 | 35 | 3 | 13 | 37 | 10 | 12 | 17 | 3 | 11 | 4 | 50 | 10 | 21 | 16 | 10 | 15 | 59 | |
| 26 | 14 | 34 | 10 | 14 | 34 | 46 | 15 | 14 | 7 | 12 | 4 | 48 | 11 | 18 | 45 | 11 | 14 | 8 | |
| 27 | 15 | 32 | 4 | 15 | 32 | 22 | 14 | 11 | 10 | 15 | 5 | 49 | 12 | 16 | 16 | 12 | 12 | 57 | |
| 28 | 16 | 31 | 20 | 16 | 29 | 54 | 15 | 8 | 13 | 14 | 50 | 2 | 13 | 13 | 47 | 13 | 11 | 7 | |
| 29 | 17 | 29 | 5 | 17 | 27 | 25 | 16 | 5 | 14 | 15 | 52 | 5 | 14 | 11 | 19 | 11 | 9 | 39 | |
| 30 | 18 | 28 | 2 | 18 | 24 | 58 | 17 | 1 | 19 | 16 | 53 | 8 | 15 | 8 | 11 | 17 | 8 | 11 | |
| 31 | 19 | 24 | 5 | 0 | 0 | 17 | 59 | 21 | 0 | 0 | 0 | 16 | 6 | 24 | 16 | 6 | 43 | | |

Fig. 8: Tablas del Sol del Almanaque perpetuo de Abraham Zacuto para el año 1475 [7]

midiendo el tiempo que tardaba en recorrer la eslora de la nave. Con un método tan grosero, es sorprendente que el cómputo de la distancia navegada fuese medianamente utilizable.

Mucho se ha especulado sobre la doble contabilidad que llevaba el Almirante en cuanto a la distancia navegada. Al parecer, temiendo que a sus hombres les flaqueara el ánimo al conocer la distancia real navegada y le forzasen a regresar antes de tiempo, declaraba haber navegado distancias menores que las verdaderas.

Sea como fuere, este era el único método disponible para evaluar la longitud en la mar hasta que fue posible hacerlo por medio de eclipses en tierra. El propio Colón calculó la longitud de La Española en su segundo viaje, aprovechando el eclipse de Luna de 1494, con un error de unos 18° , lo que demuestra lo precario del método en aquella época.

Aún se discute si Colón acertó por casualidad con la derrota correcta de regreso, pero lo cierto es que lo hizo. Nadie conocía con seguridad la extensión geográfica de los alisios, y no sabemos por qué Colón decidió dejarlos al Sur, tomando un rumbo claramente más norte que en el viaje de ida. Sus intentos de regresar por derrotas más al Sur en sus viajes siguientes parecen apuntar a la idea de que acertó casualmente, pero lo cierto es que marcó la derrota que se seguiría durante más de 300 años para regresar del Caribe a España.

Así las cosas, cabe imaginar la satisfacción con que fue acogida la primera carta que intentaba incorporar los nuevos descubrimientos al mundo ya conocido. Fechada en 1500, la famosa carta de Juan de la Cosa, sigue siendo un portulano bajo el punto de vista técnico, y aunque se incluyen el ecuador y el trópico de cáncer, aún no figuran en ella paralelos ni meridianos.

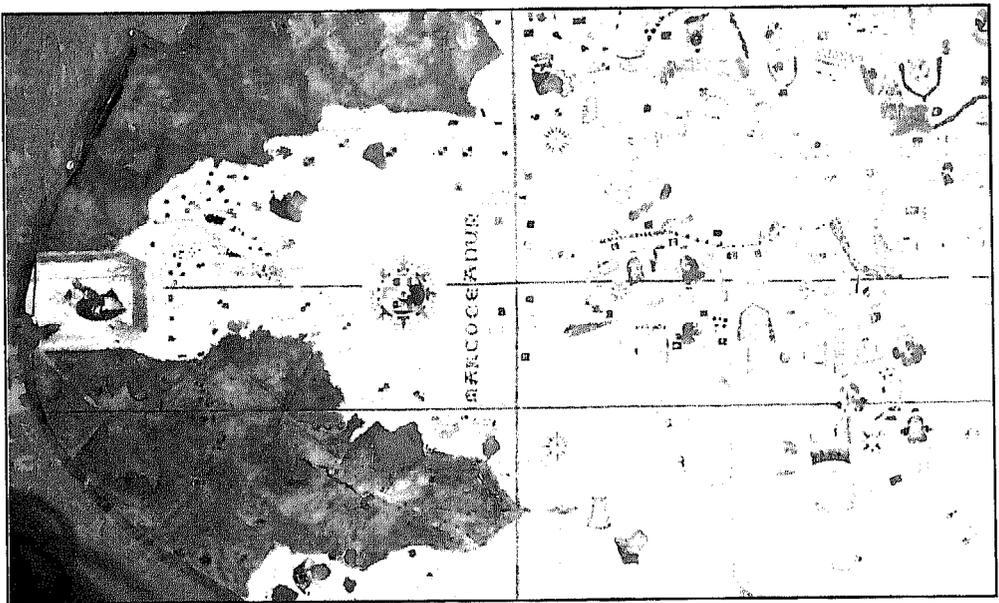


Fig. 9: Reproducción parcial de la célebre carta de Juan de la Cosa. Museo Naval de Madrid

Poco más queda por decir. Si con los rudimentarios medios disponibles, con naves que no llegaban a los 25 m de eslora y con la incertidumbre de lo desconocido, aquellos hombres fueron capaces de enseñar al mundo sus nuevas dimensiones, no nos queda más que expresar nuestra admiración y nuestro reconocimiento a la deuda contraída con ellos, pues llevaron el nombre de Santaña y el de España entera más allá de los límites del mundo conocido.

Bibliografía

1. ANDERSON, E.W. *The Principles of Navigation*. Hollis & Carter. London, 1970.
2. BROSSARD, M. de. *Historia Marítima del mundo*. Ediciones y Distribuciones Mateos. Madrid, 2000.
3. COMELLAS, J. L. *El Cielo de Colón: Técnicas Navales y Astronómicas del Viaje del Descubrimiento*. Ediciones Tabapress. Madrid, 1991.
4. COTTER, C. H. *A History of Nautical Astronomy*. Hollis & Carter, London, 1968.
5. JUAN Y PEÑALOSA, J. de; FERNÁNDEZ-GIMÉNEZ, Santiago. *Historia de la Navegación*. Ediciones Urbión. Madrid, 1980.
6. FERNÁNDEZ NAVARRETE, M. *Historia de la Náutica*. Reproducción facsímil. Librerías París-Valencia. 1992.
7. GONZÁLEZ, F. J. *Astronomía y Navegación en España: siglos XVI-XVIII*. Editorial Mapfre. Madrid, 1992.
8. LÓPEZ CALDERÓN, M^a del C. *Catálogo de la Sección de Instrumentos Náuticos y Científicos del Museo Naval de Madrid*. Ministerio de Defensa. Madrid, 1.996.
9. LÓPEZ PIÑERO, J. M^a. *El Arte de Navegar en la España del Renacimiento*. Editorial Labor, S. A. Barcelona, 1986.
10. WILLIAMS, J. E. D. *From Sails to Satellites: The Origin and Development of Navigational Science*. Oxford University Press. Oxford, 1992.