

LA NAVEGACIÓN OCEÁNICA EN EL SIGLO XVI

Los nautas peninsulares, primeros en marcar las reglas y leyes de la navegación

Guadalupe CHOCANO HIGUERAS
Licenciada en Historia de América

La etapa de las grandes travesías atlánticas no habría sido posible sin el legado científico del mundo árabe (portador de la cultura griega), y más concretamente del mundo andalusí: los marinos árabes habían recorrido el Mediterráneo, el Índico y también se abrieron al Atlántico.

Portugueses y españoles, herederos de la tradición oriental, tuvieron su principal fuente de conocimientos en los libros de Alfonso X el Sabio y de Raimundo Lulio (1273), esencialmente la recopilación de códigos del rey castellano que, con el título de *Libros del Saber de Astronomía* (ca. 1256), presentan, entre otras materias, las cuestiones de latitud, o medida de la altura de los astros, y tablas de declinación solar, que servirán de fundamento a todos los tratados y regimientos posteriores.

Durante los siglos xv y xvi, los peninsulares desarrollaron las teorías y técnicas necesarias a las navegaciones oceánicas de altura, constituyendo, primero en el Mediterráneo y luego en el Atlántico, el exponente más completo del progreso de la construcción y técnica navales. El gran adelanto de la náutica, la cartografía y la construcción naval, prolongado en la centuria siguiente, conformará la fase de transición hacia la ciencia moderna promovida en el curso del siglo xviii.

Fueron los primeros en marcar las reglas de arquitectura naval y leyes de navegación en la Edad Media y Moderna. A excepción del tratado italiano de principios del siglo xvi *Fabbrica di galere* (publicado por Jal en 1840), los castellanos elaboraron los más antiguos tratados de construcción naval; en el último cuarto del xvi, Escalante de Mendoza y Diego García de Palacio (1) nos ofrecen las fórmulas para construcción de buques determinados, si bien su identificación en textos de la época no es tarea fácil debido a la similitud de los vasos representados y la propia confusión a que induce su denominación, que, aun refiriéndose al mismo tipo, cambiaba según el lugar de construcción. Así la nao en España era similar a la denominada carraca en Italia o urca en Alemania. Por otro lado, las soluciones que nos aportan los planos de los primeros tratadistas son perfectamente trasladables a las técnicas aplicadas en

(1) ESCALANTE DE MENDOZA, Juan: *Itinerario de navegación de los Mares y Tierras Occidentales* (1575) y GARCÍA DE PALACIO, Diego: *Instrucción Náutica para navegantes* (1587).

el siglo XV, habida cuenta que su evolución era tan lenta, que los cambios de estructura, que no de arqueo que aumentó notablemente en el curso del XVI, sólo son apreciables observando larguísimos períodos de tiempo.

La práctica fue determinando que la carabela era la nave más adecuada para expediciones de exploración y descubierta, la nao como buque mercante para grandes travesías, y más tarde el galeón, de mayor envergadura que la nao, como buque principal de combate, la galera era aplicada, esencialmente, a la guerra en el Mediterráneo, etc., atendiendo así los tipos de buques, su arquitectura, a las exigencias que requerían su misión y/o el mar a navegar; del mismo modo, la técnica de la náutica, que venía practicándose en el Mediterráneo a la vista de la costa, como referente, es decir de cabotaje, evolucionará al engolfarse océano adentro y perder el punto geográfico de referencia durante días, incluso meses, gestándose así en el Atlántico, desde la segunda mitad del siglo XVI, la navegación de altura.

Aunque desde la antigüedad se venían calculando en tierra las dos coordenadas geográficas, latitud y longitud, para determinar la situación exacta de un lugar, hasta avanzado el siglo XV no se comenzará a experimentar a bordo con una de ellas, la latitud, mientras la otra coordenada, la longitud, tardará casi tres siglos en poder determinarse en el mar, y entonces mediante la incorporación a bordo del cronómetro marino de precisión.

Con la aplicación de las latitudes, elemento básico de la navegación de altura, se irá pasando del punto de *fantasía* o *estima*, por rumbo y distancia, al punto de *escuadría*, con el rumbo y latitud, introduciendo en las cartas náuticas la escala de latitudes, sistema de enorme trascendencia en la ciencia náutica.

El arte de la navegación, conceptuado como ciencia náutica en el siglo XVI, que no en el sentido moderno del término, será el objeto de nuestra exposición, y para ello nos deberemos remitir, ineludiblemente, a los primeros tratados de navegación de los que fueron autores portugueses y españoles, a los que cabe igual gloria.

Navegación por estima: rumbo y distancia

En el mar Mediterráneo se mantendrá el método de la estima hasta el siglo XVIII, y es que, siendo un mar estrecho y no superando la precisión de las observaciones de latitud en el siglo XVI el sexto del grado, el procedimiento más exacto seguía siendo la estima; dicho sistema, original de la zona mediterránea, será también el utilizado en el Atlántico hasta bien entrado el siglo XV.

Los pueblos mediterráneos aportaron a Europa los tres elementos fundamentales propios de la navegación de estima: la brújula o aguja náutica, el derrotero y la carta arrumbada.

La generalidad de los pilotos no siempre se servían de la brújula, mientras que la experiencia les enseñaba a utilizar los elementos naturales: la acción de los vientos sobre el aparejo, la estela del agua, el influjo de las corrientes

marinas etc., que les indicaban la velocidad de la nave y, con la ayuda de los relojes de arena (*ampolletas*), la distancia recorrida en millas y leguas, estimando así la situación del buque a *ojo marinero*, o estima; habrán de pasar siglos antes de inventarse la *corredera de barquilla*, instrumento del siglo XVII para medir las distancias recorridas que se mantuvo en vigor hasta la primera mitad del siglo actual (2).

Sin entrar en cuestiones sobre el origen de la primitiva aguja magnética, sobre lo que no constan datos fidedignos acerca de si pasó de China a la Arabia y Siria y después a Europa, o si nació en Occidente..., atenderemos únicamente a su funcionalidad consistente en indicar el norte tanto de día como de noche, por la fuerza directriz que supone una barra de hierro imantada.

Mediante la aguja imantada orientaban el rumbo, es decir, el ángulo entre la proa de la embarcación y el norte que marcaba la aguja; su utilización en el Mediterráneo era ya usual en el siglo XIII, pues ya aparece reflejada en las *Partidas* de Alfonso el Sabio: «E bien assí como los marineros se guían en la noche oscura por el aguja, que les es medianera entre la piedra e la estrella, e les muestra por do vayan» (Tít. 9, Ley 28 de la 2.^a Partida), o por el beato mallorquín Raimundo Lulio (a quien se llegó a atribuir su invención) que en su autobiografía se refiere a la aguja como medio de dirigirse al septentrión. La aguja irá fijada sobre un disco de papel donde está dibujada la *rosa de los vientos*, haciendo oficio de horizonte fijo, según orientación Norte-Sur; con respecto a que el norte estuviera representado por la flor de lis, pudo deberse a un origen napolitano, o francés como nos dice Pedro Medina en su *Regimiento*: «las agujas se comenzaron a fabricar en Francia y en Flandes, y de allí el principio de poner flor de lis por cabeza con el Norte» (3).

En la rosa se podían leer los puntos cardinales e intercardinales, esto es los vientos o rumbos por los que se debía orientar el navegante, llegando a ser 32 en su forma definitiva como nos apunta por primera vez Gemma Frisio en su comentario a la *Cosmografía* de Apiano (4). La separación entre dos rumbos formaba un ángulo de una cuarta, equivalente a 11° 5', con lo cual el error de apreciación del rumbo, en teoría, no debía superar la media cuarta, aproximadamente 5°.

La aguja, el más importante factor entre los instrumentos náuticos, que con palabras del tratadista Pedro Medina suponía en la navegación lo que la vista del hombre entre los cinco sentidos, determinó en el Mediterráneo la aparición de un nuevo tipo de derrotero, el *portulano*, o carta arrumbada, sin tener en cuenta la latitud ni la longitud, sino rumbos y distancias, resultando una cartografía aproximada a partir de los datos de navegación experimentados por los

(2) Pigafetta, durante el viaje de Magallanes, será el primero en citar un instrumento de medida (distancia), la *catena a popa*, instrumento auxiliar para medir el recorrido de la nave, antecedente de la *corredera de barquilla*, del que no hallamos referencias en Colón ni en otros nautas de la época.

(3) MEDINA, Pedro: *Regimiento de Navegación*. Sevilla, 1563 (1.^a ed. 1552). En España no se introducirá este signo hasta el siglo XVI.

(4) APIANO, Pedro: *Libro de la Cosmografía*. Amberes, 1548 (t. de *Historia del arte y ciencia de navegar*. García Franco, Salvador. Madrid, 1947, t. 1, p. 27).

nautas durante años e incluso siglos; italianos y mallorquines se disputan su paternidad, en cualquier caso, a juzgar por ciertos documentos de la época, parece que nació en torno al 1300 en el Mediterráneo occidental: en 1335 se hace referencia a un mapa *maris Januenses et majoricenses* (5), y más adelante, en el tratado de hacer cartas de navegación más antiguo conocido, propiedad del rey Don Martín de Aragón, consta que en 1359 las galeas aragonesas debían llevar obligatoriamente dos cartas de marear en cada nave (6). El portulano, además de representar las distancias entre los puntos más significativos de la costa, ofrecía los rumbos magnéticos que unían esos lugares, formando una tela de araña superpuesta a las rosas de los vientos ordenadas sobre un centro, u ombligo, que a su vez conformaba el núcleo de la carta. Los rumbos, término de origen español aplicado a la navegación, servían para calcular la estima, es decir, la distancia navegada sobre la recta que unía los puertos de salida y de llegada cuando el viento, por ser escaso o corto, obligaba a dar bordadas cifiéndolo alternativamente; en palabras del portugués Pedro Nunes, en su *Arte de Navegar*: «Las líneas que parten desde un punto dado a cualquier otro del horizonte, son llamados rumbos por los españoles». Se trataba de rumbos magnéticos sin corregir, es decir, afectados por la declinación magnética o desviación de la aguja: los cosmógrafos contaban solamente con la brújula para trazar las cartas haciendo coincidir el norte geográfico con el norte magnético, en la idea existente entonces de que la aguja magnética señalaba, o debía señalar, el norte verdadero o norte geográfico; de esta forma, el eje longitudinal del mar Mediterráneo ofrecía en los portulanos una inclinación de varios grados a la izquierda, pues la representación gráfica, su trazado, se convierte en una rotación en sentido contrario al producido por la desviación de la aguja y en la misma medida que ésta. Posiblemente los pilotos conocieran el fenómeno de la desviación de la aguja y no lo tenían en cuenta en sus marcaciones, o hacían las correcciones durante la navegación.

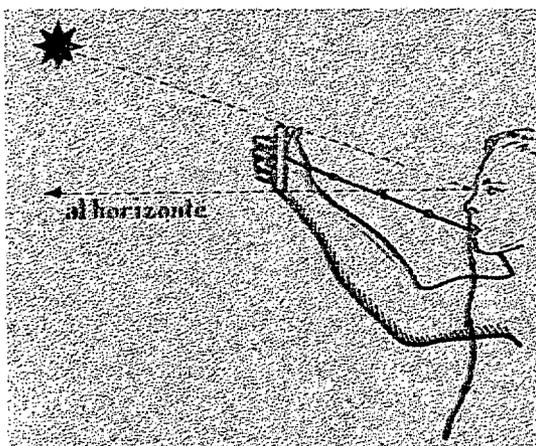
Sobre los portulanos podían marcar la posición de la nave, *punto de fantasía*, deducida a partir de la derrota indicada en el rumbo elegido y la distancia estimada medida en el tronco de leguas dibujado en algún lugar despejado del portulano; los troncos de leguas, escala geométrica rudimentaria sobre la que debían tomarse las distancias con las puntas del compás, se construían normalmente tomando sobre la equinoccial de la carta una longitud de 4°, lo que venía a ser setenta leguas españolas a razón de 17,5 por grado. Se dividían estas escalas en partes iguales de manera que cada una midiera 10 leguas.

(5) Publicado por Robert Almagiá en *Intorno alla piu antica cartografia nautica catalana. Códice Vaticano Latino 6435* en Bollet. Soc. Geogr. Ital., serie VII, vol. X, n.º 1 (t. de *La Cartografía Náutica española en los siglos XIV, XV, XVI* y M. Cerezo, Ricardo. Madrid, 1994, p. 41).

(6) GUILLÉN TATO, Julio: *Cartografía Marítima española*. Real Academia de la Historia, Madrid, 1943, p. 24.

Navegación por rumbo y latitud

Con el método de estima, alejarse de la costa suponía la pérdida de referencia diaria y consecuentemente arriesgarse a perder el rumbo. Por otra parte, la navegación de altura, por la observación de las estrellas, la habían experimentado siglos antes en el Atlántico y en el Índico los árabes, utilizando la aguja náutica y, posiblemente, instrumentos para observar la altura de los astros, siendo los primeros en intentar fijar el *punto de la nave*, sintiendo la necesidad, como nos dice Martín Cortés, de «para andar



Empleo del Kamal.

por el mar poner los ojos en el cielo» (7). Se guiaban por las estrellas, inicialmente y durante mucho tiempo sin instrumentos de observación como sin duda lo harán posteriormente la inmensa mayoría de las navegaciones atlánticas de los peninsulares del siglo XV y gran parte del XVI, visando las estrellas a través de los extremos de los mástiles y así, según las vieran sobre el mástil, debajo, a derecha, o a izquierda, reconocían el rumbo a seguir (8).

(7) CORTÉS, Martín: *Breve Compendio de la Sphera y de la Arte de Navegar*. Sevilla, 1551 (escrita en 1545), en dedicatoria a Carlos V. Ed. facsímil de Guillén Tato, Julio. Zaragoza, 1945.

(8) Desde el siglo VII se mantenía abierta la comunicación entre el Mediterráneo y el Atlántico; se encuentran naves francas en el Mediterráneo y bizantinas en el Atlántico, aunque se trataba de navegación de boqueo, a la vista de las costas. Siglos después, los marinos andalusíes cruzaban el Mediterráneo en el sentido de los paralelos, es decir, por alta mar. Las referencias de textos árabes sitúan sus pilotos en los más diversos lugares del mundo durante los siglos X y XI. Normalmente navegaban en convoy, no solamente para proteger sus mercancías, sino porque llevarían en el buque a la cabeza al piloto más experto, orientándose por estrellas conocidas visándolas a partir de los mástiles; el sistema estaba expuesto claramente en la *Farsalia*: «Todos esos astros que cumplen su revolución declinando en el cielo estrellado y que por esa perpetua inestabilidad engañan a los pobres marinos, no son los que nosotros seguimos, sino el eje que jamás se hunde en las olas, que jamás se pone, que hace resplandecer la doble constelación (Osa Mayor y Osa Menor), eso es lo que guía nuestros buques. Mientras sube hacia la cúspide de la bóveda celeste y la Osa Menor domina la extremidad de mis mástiles, nosotros avanzamos hacia el Bósforo y el mar Negro, que se hunde en las costas de Escitia. Si Arctofilax (Arturo) desciende de la cima del mástil y la Osa Menor se inclina hacia la superficie del mar, es hacia los puertos de Siria a donde se dirige el buque. Luego aparece Canopo, que se complace en vagar por el cielo austral; es una de las estrellas que teme al Norte; avanza conservándolo a la izquierda, más allá de Faros (Alejandría): el buque tocará la gran Sirte en medio de las dos». Relaciones similares se encuentran respecto a navegaciones árabes en el Índico («La navegación en el al-Andalus», en *El Legado científico Andalusi*. Vernet, Juan. Museo Arqueológico Nacional. Madrid, 1992, pp. 182-183).

La tradición árabe la heredarán los portugueses aplicándola en las navegaciones atlánticas de la segunda mitad del quince, con la observación de la altura de las estrellas sobre el horizonte, sin que aún se pueda hablar propiamente de cálculo de latitudes a bordo.

Después de la toma de Ceuta en 1415, los portugueses, en una especie de empresa estatal, iniciaron de forma sistemática sus navegaciones hacia el Sur, siguiendo el método de rumbo y estima propio del Mediterráneo. Ayudados por castellanos, aragoneses y genoveses, se cuestionarán la navegación de estima cuando, ya doblado el cabo Bojador (1434), comiencen a experimentar en la segunda mitad de siglo la navegación de altura basada en el cálculo de una coordenada astronómica de un astro, la latitud: no habían tenido dificultad en la navegación al Sur, pues durante todo el año soplan los vientos alisios del norte al nordeste desde el cabo Bojador a cabo Verde, pero sí la tendrían a la vuelta de Guinea, y más tarde de La Mina, al remontar la costa con viento de proa. La utilización de la carabela, de mayor maniobrabilidad que la nao, y el continuo cambio de bordo, o navegación de bolina, con que ofrecer resistencia al viento, no facilitaban suficientemente la travesía de vuelta. La solución la encontrarían rodeando esos elementos contrarios adentrándose en el mar; aquello planteaba el grave problema de perder de vista las costas y por tanto navegar en rumbo ciego donde las apreciaciones de estima, sobre todo en grandes distancias, podían acumular errores insalvables; debían engolfarse océano adentro navegando al oeste y, ayudándose del viento, dirigirse al NO con el viento de través hasta alcanzar la latitud de los vientos variables del oeste, en las cercanías de las Azores, que les llevarían de una bordada a las costas portuguesas dando así con los vientos del Atlántico Norte (años después comprobarán que existía una corriente similar en el Atlántico Sur). El momento de girar oportunamente al este, en dirección a la costa portuguesa, lo indicaban fundamentalmente las corrientes marinas, el color del agua, etc., elementos naturales que auxiliaban la navegación.

Julio Samsó llega a afirmar que desde el siglo XI los navíos andalusíes disponían de brújula, astrolabio y cuadrantes náuticos, instrumentos de observación de los que más adelante hablaremos («Un rápido recorrido por la exposición», en *Legado científico Andaluzí*, p. 21).

Parece que los árabes del Pacífico se servían de cartas náuticas sin rumbos gráficos, pero tenían unos derroteros donde registraban las alturas de las estrellas de los puertos e islas importantes, y el *kamal*, sencillísimo instrumento de medición de la altura de los astros cuyo empleo nos describe Juan de Lisboa en el *Livro de Marinharia* (García Franco, Salvador, 1947, t. 1, pp. 237-238). Una vez que alcanzaban el paralelo correspondiente se orientaba el rumbo en sentido este u oeste hasta el lugar conocido, y de allí costeano al punto de destino, es lo que se denomina navegación por paralelo. La dirección casi meridiana de las costas orientales africanas, y las peninsulares del sur asiático, propiciaban la utilización de la altura de las estrellas para la recalada.

Cuando en su viaje a la India Vasco de Gama llegó a Melinde, en la costa oriental africana, supo que los pilotos árabes utilizaban métodos astronómicos: Joao de Barros recuerda cómo un famoso piloto árabe (al que llama Malemo Kama) los condujo desde el puerto africano hasta Calicut, en la India, mostrándole «uma carta de toda a costa de India arrumada ao modo dos mouros, que era en meridianos e paralelos, mui miudos sem outro rumo dos ventos» (GARCÍA FRANCO, Salvador, 1947, t. II, p. 43; y LAGUARDA TRIAS, Rolando: «Comentarios sobre los orígenes de la navegación astronómica». *Revista General de Marina*, junio 1959, p. 746).

Esta bordada en alta mar se la conocerá como *vuelta de la Mina*, manteniéndose sus procedimientos en absoluta reserva por la Corte de Juan II de Portugal. Durante esta vuelta por lo largo buscaron la fórmula que les permitiera situar la nave diariamente para lo que recurrieron a la estrella Polar (más tarde al Sol) y, mediante su máxima altura, midiendo el ángulo que forma el Polo Norte sobre el horizonte del mar, obtener la latitud geográfica de posición del buque. La realidad es que obtendrían marcaciones *grosso modo* pues, provistos casi únicamente de la brújula, si llevaban a bordo instrumentos de observación su construcción era muy tosca y sus graduaciones (puntos de altura) muy imperfectas; no obstante, la teoría estaba definida, el conocimiento de la solución hallado, y ello supondrá un importantísimo adelanto en la navegación. Decimos importantísimo pues, si bien la navegación de altura, por observación de las estrellas, vemos que se venía experimentando desde siglos antes por los orientales, lo cierto es que en esta época las expediciones portuguesas comenzaban a experimentar en cálculos de latitud, sistema que, pese a su escasísima precisión (y normalmente experimentado desde tierra), será el componente básico para el desarrollo de la navegación astronómica moderna del siglo XVIII.

Instrumentos de observación de alturas

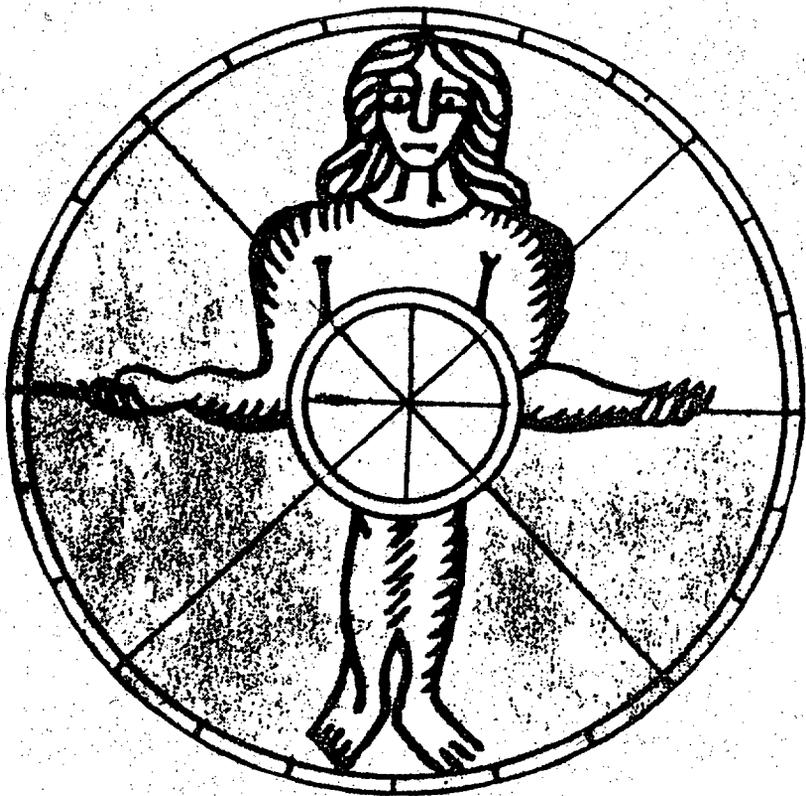
En tierra se sabía desde la antigüedad que conociendo la altura del Polo Norte sobre el horizonte de un lugar se calculaba la latitud geográfica del mismo, y que la situación del Polo, punto astronómico invisible, equivalía a la altura de la estrella más cercana al mismo sobre el horizonte, denominada estrella Polar, aplicándole una pequeña corrección: la estrella Polar en su movimiento diario circular al Polo se encuentra unas veces debajo y otras encima de este punto, como nos recordará Fernández de Enciso, círculo que entonces tenía un radio de cerca de 3°,5 (9). En nuestro días y en la época de los descubrimientos, la estrella más próxima al Polo del mundo es la *alfa* de la Osa Menor, estrella Polar también denominada Tramontana por los nautas del Mediterráneo (porque la verían detrás de los Alpes y Apeninos), de ahí la expresión perder la tramontana cuando se hallaban desorientados en el mar al

(9) Las cifras de distancia de la Polar al Polo varían secularmente a causa de las variaciones en la velocidad de precesión de los equinoccios (variable observada en sucesivas estimaciones por los astrónomos musulmanes, cuyo estudio siguieron después los astrónomos andalusíes en el siglo XI), si bien son unas diferencias pequeñísimas: en el año 1500 distaban 3°, 42', y en el año 1600 2°, 86..., en la época actual tiene una distancia aproximada a 1°, de modo que dicha estrella indica prácticamente el Polo (en palabras sencillas diríamos que la precisión de los equinoccios es el cambio del eje de rotación de la Tierra, que a la vez que gira sobre sí misma produce cierto movimiento de balanceo, es decir, el Polo Norte del mundo describe una circunferencia cuyo centro es el polo norte de la eclíptica —lo mismo en la zona austral—, de manera que cambian las distancias de las estrellas en su observación desde la Tierra).

Antes del siglo XVI ya se conocían las reglas para reducir al Polo la altura observada de la Polar, pero no se aplicaba corrección alguna por razón de su variación con la latitud de los distintos lugares cuando la Polar está fuera del meridiano, siendo el portugués Pedro Nunes el primero en notar esta variación a final del siglo.

ocultarse la estrella por las nubes, o, que en expresión popular se aplica a *perder la cabeza*.

Para determinar la altura de la estrella Polar se recurría a la posición de las estrellas colindantes, las guardas de la Osa Menor, astros que están en movimiento permanente alrededor del Polo (10).



Hombre del Polo.

(10) Para conocer el movimiento de las estrellas circumpolares se imaginó en la Edad Media una figura quimérica, el *Hombre del Polo*, en la que identificaban al Polo Norte con el centro del cuerpo, el meridiano norte con la cabeza, el meridiano sur con los pies, y los brazos en cruz orientados a Poniente y Oriente respectivamente; las bisectrices de estos cuatro ángulos rectos formados por el Hombre, se dirigían al hombro derecho e izquierdo las dos superiores, y debajo del brazo derecho y del izquierdo las inferiores. La estrella Polar se suponía en el centro y la Cochañ (estrella beta o delantera de la Osa Menor) rodeando en círculo la figura. La creación del Hombre del Polo permitía conocer la distancia del Polo a la estrella Polar por medio de la situación de la Cochañ; la imagen del Hombre del Polo no siempre se representaba de frente, mostrando el brazo derecho Poniente, etc., p.e., Cristóbal Colón se sirvió de esta figura colocada de espaldas, ofreciendo la orientación según la visualiza el observador.

Observada la posición de las guardas en relación a la Polar, su distancia en grados se podía conocer mediante la aplicación de unas reglas expuestas en los regimientos del Polo con las que determinar la altura verdadera y consecuentemente la del Polo o latitud del lugar, y así conocer la posición de la nave en el mar y marcar el punto de escuadría en las cartas de navegación.

La obtención de la latitud por la observación de la Polar, método más antiguo, presentaba la dificultad de que era casi imposible visualizar la línea del horizonte durante la noche. Más adelante, se podrá calcular la latitud mediante la medición de la altura del Sol a su paso por el meridiano del lugar de observación a la que debían aplicar el valor de la declinación diaria de este astro, esto es, su distancia angular al Ecuador en un lugar geográfico cuya posición estuviera ya determinada, o bien utilizando unas efemérides conocidas (tablas o cuadros que suministraban la declinación de cada día).

Después del descubrimiento de América la navegación oceánica exigía la obtención de las alturas del Polo o del Sol con las que determinar la posición de la nave y poder elegir el rumbo a seguir, para ello se hacían imprescindibles los instrumentos de observación que midieran la distancia angular de los astros sobre el horizonte, astrolabio, cuadrante y ballestilla, iniciándose así, al menos teóricamente, la navegación por escuadría, navegando por rumbo y latitud.

Al cuadrante, cuyo uso en tierra vemos en los *Libros del Saber de Astronomía* de Alfonso el Sabio, se le hizo la única simplificación de eliminar los ábacos destinados a diversos cálculos como la determinación de la hora a través de la altura del sol. Consistía el cuadrante náutico en un cuarto de círculo de un diámetro aproximado al palmo, confeccionado en madera —más adelante se fabricaría en bronce—, con un sector graduado de 0 a 90°, *limbo*, y dos pínulas perforadas situadas sobre uno de los lados para enfilar las estrellas; del vértice del cuadrante pendía un hilo que en su extremo portaba un peso para actuar como plomada. El hilo plomada marcaba en la escala graduada del limbo la altura de la estrella sobre el horizonte; los balanceos del navío producían inestabilidad al hilo plomada por lo que se sustituyó después por una regleta, lo cual tampoco daría grandes resultados. De la utilización del cuadrante náutico a bordo conocemos las primeras referencias en el relato de Diego Gomes, datado en torno a 1460 y una primera representación gráfica en el planisferio de Diego Rivero de 1525 (11).

(11) Primera referencia escrita del uso del cuadrante a bordo en *Relação do Descobrimiento da Guínea* (Ed. de Pereira. Lisboa, 1900), donde Diego Gomes después de referir el descubrimiento de la isla de Santiago de Cabo Verde habla de su cuadrante (*Marinharia dos Descobrimientos*. Fontoura da Costa, A. Lisboa, 1983, 4.ª ed., p. 60). Pereira da Silva nos explica su utilización en *Arte de Navegar aos Portugueses desde O Infante D. Henrique a D. Joao de Castro*, en *Historia da Colonização do Brasil*. Porto, 1921, vol. 1, cap. II.

Diego Rivero dibujó un cuadrante náutico en su planisferio de 1525, más adelante lo volverá a representar en el de 1527 y en los dos de 1529, pero más parecen con fines decorativos de la carta que para uso náutico, pues ostenta cuadrado de sombras el cual no se utilizaba a bordo.

Mientras que en el hemisferio Norte se observaba la estrella *alfa* de la Osa Menor, al penetrar en el hemisferio Sur, en que se pierde de vista la Polar, se recurría a la estrella *alfa* de la Cruz del Sur (citada como Carro del Sur por Cadamosto al exponer sus viajes a Guinea, ca. 1455), a la que se añadía para obtener la latitud unos 30°, distancia de ésta al Polo Antártico en 1500.

Más tarde se vio que las mediciones de la altura meridiana del Sol con el astrolabio para determinar la latitud tenían mayor precisión que las de las estrellas con el cuadrante; para ello debían conocer la declinación diaria de este astro, esto es, la distancia angular del Sol al Ecuador producida por su movimiento desde la línea equinoccial a los trópicos, teniendo la declinación un valor de 0° cuando el astro se encuentra en uno de los puntos equinociales, o 23° 5' cuando alcanza los puntos solsticiales, y sumando o restando a la altura observada del astro el valor correspondiente de la declinación de los demás días, según se tratara de latitudes norte o austral, obteniendo así la altura verdadera y por tanto la latitud del lugar de observación. Los valores de las declinaciones aparecían ya en el t. IV de los *Libros del Saber (Tabla de la declinación del Sol)* de Alfonso X, cimientos de las primeras efemérides, pero serán los tabulados en la *Sphaera mundi* del monje inglés Juan de Sacrobosco (publicado en 1472) y el *Almanach Perpetuum* del judío salmantino Abraham Zacuto, publicado en 1483 y 1496, los que pudieron llevar a bordo los pilotos. Las tablas de Zacuto correspondían a los años 1473 a 1476, pero además incluyó una tabla de correcciones a esos valores para obtener la latitud en cualquier día de los años posteriores, de manera que estuvo en uso hasta empezado el siglo XVII (12). Respecto a otras correcciones los antiguos desconocían, o no conocían bien, las dependientes de refracción, semidiámetro, etc., que no se tenían en cuenta.

El astrolabio astronómico, ya considerado por los griegos, solucionaba en tierra numerosos problemas. Los árabes lo introdujeron en España. Alfonso el Sabio lo describe en los *Libros del Saber de Astronomía*. Al principio era de forma esférico-armilar y de difícil manejo, después pasó a tener forma plana o planisférica, siendo ésta la más conocida. Su adaptación a bordo significó su máxima simplificación, conservando solamente la posibilidad de medir la altura de los astros; dejó de ser de madera o chapa de metal para fundirse en aleación de cobre, dándole mayor peso en su parte inferior para adecuarlo mejor al balanceo del buque. Suspendido de un anillo, *asidero* o *colgadero*, lo formaba una rueda con dos diámetros ortogonales, en cuyo centro giraba la dioptra o alidada, que disponía de dos pínulas con orificios para enfilar el astro. La alidada, que también era puntero, marcaba la altura observada en las dos escalas grabadas —de 0 a 90°— de los dos cuadrantes superiores de la

(12) Las tablas del rey Alfonso fueron impresas por primera vez en Venecia en 1483. Las tablas del *Almanach Perpetuum* para su adopción a bordo se publicaron en portugués en el *Regimento do astrolabio e do quadrante*, ca. 1509, y en español en la segunda edición de la *Suma de Geographia* de Martín Fernández de Enciso (1530).

rueda (13). La manera de ejecutar la operación de medir la altura del Sol con el astrolabio recibía en parla marinera el nombre de «pesar el sol»: el observador, sosteniendo el astrolabio colgado del anillo a la altura de la cintura (de otra forma el sol le cegaría), realizaba varias mediciones en las proximidades del meridiano hasta lograr la máxima altura, manejando la alidada de manera que el rayo de sol, penetrando por el orificio de la pínula superior, se proyectase en el inferior, pareciendo la alidada del instrumento el brazo de una balanza en sus oscilaciones hasta marcar la sombra en la escala. En cuanto a su utilización, el cronista portugués Juan de Barros, refiriéndose a la segunda mitad del siglo xv, anota que sólo hacía pocos años que lo manejaban los pilotos portugueses en las travesías oceánicas (14).

El tercer instrumento de navegación de altura, en cuanto a su utilidad y creemos que también en orden a su introducción a bordo, aunque se hace alusión a su existencia en el siglo xiv, fue la ballestilla. Estaba constituida por el *virote*, vara de madera de sección cuadrada de tres a cuatro palmos de largo, en el que se introducía una pieza perpendicular también de madera, de menor dimensión, llamada *sonaja*. Cada ballestilla ostentaba varias sonajas. Se enfilaban los astros por el extremo del virote, *coz*, de forma que la arista superior de la sonaja coincidiera con el astro y la inferior con el horizonte del mar, leyendo así la altura del astro en una de las caras grabadas del virote (a cada sonaja a utilizar le correspondía una escala en el virote). Por la dificultad de su manejo, teniendo que visar al mismo tiempo la altura del astro y el horizonte, apenas se utilizaba, a pesar de que ofrecía mayor posibilidad de precisión frente al cuadrante y el astrolabio al presentar unas escalas más subdivididas (15).

Con los instrumentos descritos los nautas podían calcular la latitud con independencia del trazado de las cartas. Navegarían a la manera de los árabes, es decir, controlaban el camino recorrido en dirección Norte-Sur por la diferencia de altura de los astros tomando como referencia latitudes conocidas de puntos determinados de la costa. Del sistema a navegar nos da idea la lectura del *Repertorio dos Tempos* (16), relación del xvi según la cual: al salir de Lisboa se observaba con el cuadrante la altura de la Polar estando en una posición determinada las guardas de la Polar, estrellas *beta* y *gamma* (delantera y trasera) de la Osa Menor, y 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 resta-

(13) Sufrió otra simplificación quedando reducido a un anillo metálico, con una pequeña abertura en su espesor, a unos 45° del colgadero, recibiendo el nombre de *annulo astronómico*, atribuyéndose su invención a Gemma Frisia que hizo su descripción al comentar el reflejado en la *Cosmographia* de Pedro Apiano.

(14) GARCÍA FRÍAS, Juan: «Colón y la Náutica en el siglo xvi». *Revista General de Marina*, octubre 1974, p. 297.

(15) Se abandonarán estos instrumentos, cuadrante, astrolabio y ballestilla, cuando a partir del siglo xviii aparezcan los instrumentos de doble reflexión resolviendo el problema: el cuadrante de reflexión de Hadley hacia 1731, luego el octante, el quintante y finalmente el sextante.

(16) *Repertorio dos tempos*. Ed. de Valentín Fernandes, año 1518 (Laguarda Trías, 1959, p. 744).

ban los grados comprendidos entre las dos marcaciones y la cifra resultante se multiplicaba por el valor del grado en leguas, esto es por $16 \frac{2}{3}$, calculándose así el trayecto recorrido en leguas en sentido Norte-Sur (17). De esta forma vemos cómo el cuadrante se estaba utilizando en la práctica para medir distancias Norte-Sur y no latitudes propiamente.

Otro sistema consistía en registrar sobre el limbo del cuadrante los nombres de los lugares que aparecían con una altura determinada de la Polar, estando las guardas en una posición específica; el cuadrante indicaba cuándo se alcanzaba dicha altura navegándose entonces hacia el Este u Oeste para llegar al lugar elegido.

Cuando la Polar estaba oculta en el momento adecuado a la observación se hacía imposible calcular la distancia recorrida, razón por la cual los portugueses crearon el *Regulamento do Norte*, o regimiento del Polo, donde en una tabla se ofrecía al navegante las alturas del Polo, sus valores, en función de las diferentes posiciones de las guardas de la Osa Menor, *beta* y *gamma*.

Ninguno de estos métodos requería cartas náuticas graduadas con latitudes, y quizá por ello no nos haya llegado ninguna carta de este tipo del siglo xv. Prácticamente en el inicio del siglo xvi, sin que ello represente una fecha exacta, sino que se introducirían paulatinamente, aparecen las cartas planas de uso oceánico, llamadas *cuadradas*, o *de grados iguales*, necesarias para aplicar el método de escuadría y estima que situaban la posición de la nave y estimaban las distancias recorridas por la línea de rumbos, según los valores dados en los regimientos de leguas (tabla de conversión de leguas a grados incorporada en la mayoría de los regimientos de navegación de la época); aplicaban las latitudes en las cartas de marear tomando como origen un lugar de latitud conocida, pues hasta fines del quince no se había logrado establecer con exactitud la posición del Ecuador respecto a un punto geográfico determinado. Las primeras cartas cuadradas, una vez confeccionadas, presentaban un aspecto similar a los portulanos, pues se borraba el reticulado de paralelos y meridianos utilizado en su elaboración. Estas cartas, fundamentadas en técnica más científica, tomando las alturas con el astrolabio y estimando las distancias, sin embargo, al contener meridianos y paralelos de grados iguales, aumentaban progresivamente su error de marcación cuando se navegaba por regiones apartadas del Ecuador (18).

(17) La evaluación del grado en leguas difería según las zonas: $16 \frac{2}{3}$ era el valor en leguas del grado equinoccial y del meridiano que le daba Enciso, Vespuccio, Magallanes, Fale-ro... mientras Colón le había dado $14 \frac{2}{3}$ que a razón de cuatro millas por legua resultarían $56 \frac{2}{3}$ millas. En general en el siglo xvi portugueses y españoles le darán un valor de $17 \frac{1}{2}$ leguas, es decir unas 70 millas por grado.

(18) Pedro Nunes, primera autoridad introductora de la cartografía científico náutica, intu-yó la idea de reforma al trazado de grados iguales. Mercator desplazará a la carta cuadrada en el siglo xvi, sin embargo, como antes pasara con el portulano y la cuadrada, su introducción no se impondrá desde un principio, sino que la lucha por imponer la carta mercatoriana sobre la cuadrada se prolongará durante mucho tiempo, hasta el siglo xviii.



Representación de la utilización del astrolabio y de la ballestilla. Grabado en *Warhfting Historia (...)*, de Hans Staden, Madburgo, 1557.

Primeros cálculos de latitudes a bordo

El cálculo de latitudes a bordo apenas puede decirse que se practicara, por su casi absoluta imprecisión, hasta bien entrado el siglo XVI y hasta entonces no se puede hablar de la existencia de navegación astronómica.

Algunos autores creen, basándose en una anotación de Colón en la *Historia Rerum* de Piccolomini (19), que la carta náutica con graduación de lati-

(19) «Al Serenísimo rey de Portugal le fue comunicado, en el año 88, por un capitán suyo, al que había enviado a Guinea para tantee el terreno, que había navegado más allá de la equinoccial 45 grados». (Apostilla número 6 de Colón en la *Descripción de Asia*, única parte que conoció de la *Historia Rerum Ubique Gestarum*, de Eneas Silvio, Piccolomini. Ed. de Francisco Socas. Universidad de Sevilla. Madrid, 1992, p. 6.)

tudes se creó a raíz del reconocimiento de la costa occidental africana ordenado por Juan II de Portugal, pero esta anotación, similar a la que apostillara Colón en el *Imago Mundi* de Pierre d'Ailly (20), sólo se refiere a la vuelta de Bartolomé Díaz a Lisboa, en diciembre de 1488, descubriendo por el astrolabio que llegó 45° al sur del Ecuador. Por otra parte, sabemos que dos años antes había regresado a Lisboa el escudero de Juan II, Diego Cão, finalizado su viaje de exploración por la costa occidental africana al sur del Ecuador (rebasando el anterior punto conocido de cabo Catarina); este reconocimiento, ordenado por el monarca portugués en 1482, mientras se construía el castillo de San Jorge da Mina, reveló una considerable extensión de litoral, demostrando que era habitable el hemisferio Sur. Si admitiéramos como cierta la idea que aboga la existencia de cartas graduadas en estas fechas, Vasco de Gama habría salido para la India en 1497 con métodos astronómicos ya experimentados, o lo que es lo mismo, con mediciones de la altura del Sol y cartas náuticas de latitudes. Sin embargo, el diario de Vasco de Gama no da a entender esta posibilidad y, por otro lado, tampoco la significan los pilotos de la armada de Pedro Alvares Cabral en el viaje al Brasil en 1500, pues practicaron una navegación de estima, por aproximación, con escasas mediciones de latitud a bordo, cálculos que seguían tomando normalmente en tierra (21).

Otros autores piensan que Colón navegó por métodos astronómicos al saber aplicar las alturas de la Polar o del Sol, aduciendo que, hasta que se creyó ver tierra desde la *Niña*, mantuvo la derrota normalmente en una franja de unos tres grados de paralelo.

Encontraremos noticias de navegación por métodos astronómicos en la expedición de Magallanes-Elcano, mostrando el diario del piloto Francisco Albo hasta 158 cálculos de latitudes; el mismo sistema empleará la armada de fray Jofre García de Loaysa, en 1525-1527, cuyo diario contiene 199 observaciones de latitud. Hallamos algo semejante en Portugal años después, en el viaje de Pero Lopes de Sousa al Río de la Plata, en 1530-1532, con 87 observaciones de latitud, o en el derrotero de Juan de Castro en 1538, etcétera (22).

(20) «En este año 88 en el mes de diciembre llegó a Lisboa Bartolomé Díaz, capitán de tres carabelas, enviado por el serenísimo rey de Portugal a Guinea para explorar la tierra; y comunicó al mismo rey serenísimo que había navegado más allá de lo ya navegado 600 leguas, es decir 450 en dirección al norte y 250 hacia el sur hasta un promontorio llamado por el mismo cabo de Buena Esperanza, que nosotros creemos que se encuentra en Agesimba. Dice que en este lugar descubrió por el astrolabio que se hallaba 45° más allá de la línea equinoccial, lugar más remoto que dista de Lisboa 3.100 leguas. Relató su viaje y lo dibujó legua a legua en una carta de marear para mostrarlo a los propios ojos del serenísimo rey en todo lo cual yo intervine». (Apostilla número 23 b de Colón en *Imago Mundi*, de Pierre d'Ailly. Lovaina, ca. 1483. Ed. de Ramírez de Verger, Antonio. Madrid, 1992.)

(21) Algunos de los pilotos habían acompañado anteriormente a Gama. También llevaron en el viaje a Brasil el instrumento de medición árabe, *kamal*, especie de ballestila muy simplificada constituida por una tablilla, a modo de sonaja y, en lugar de la flecha, o virote, una cuerda de nudos para medir las alturas de las estrellas.

(22) Laguarda Trías, 1959, p. 748.

Algunos especialistas contemporáneos se inclinan por fechas más tardías, así, p.e., Chaunu, en su importante obra *Sevilla y el Atlántico*, afirma rotundamente que los españoles hasta finales del XVI prácticamente no habían tomado medidas de latitud a bordo. Lo cierto es que, cotejando distintos derroteros y diarios de navegación de españoles y portugueses correspondientes a aquella centuria, se puede apreciar que son excepcionales los cálculos de latitud a bordo que tuvieran una precisión aceptable, mientras que las observaciones en tierra, únicas que podían comprobar, seguían siendo las más habituales.

Conocimientos del piloto

Con el sistema de navegación de escuadría, o lo que es lo mismo por rumbo y latitud, que sin duda solo podría ser aplicado por los pilotos más expertos, la función del piloto teóricamente cobraba mayor importancia, superando la anterior fase de fantasía que se servía del rumbo y la distancia.

Todos los conocimientos que debía tener el piloto se recopilaban en regimientos y guías náuticas, que en un principio los formaban breves manuscritos anónimos donde se incluían las reglas de navegación astronómica: lista de latitudes de los lugares más frecuentados por los nautas, regimiento del Polo, tablas de declinación del Sol, etc., y ocasionalmente, una traducción del tratado del Sacrobosco (John Hollywood), con el que podían iniciarse en cosmografía, y/o las tablas de Zacuto.

En el último cuarto del siglo XV y principios del XVI empiezan a publicarse los reglamentos de la Polar y tablas náuticas en general: las ya citadas de Sacrobosco y Zacuto, o el *Regimento de declinação do Sol*, de alrededor de 1485, primera obra de la moderna náutica en Portugal; de los reglamentos del Polo, primeras reglas sobre las guardas de la Polar, se conserva el primer ejemplar manuscrito portugués, *Regimento do astrolabio e do quadrante*, conocido como Manual de Munich, de alrededor de 1509 (23). La correspondencia de los conocimientos náuticos entre cosmógrafos y pilotos españoles y portugueses será una constante en esta época: de los españoles Jaime de Mallorca (24) y Abraham Zacuto aprenderían los portugueses a hallar la latitud mediante la medición de la altura del Sol y, consecuentemente, el trazado de cartas de marear, y del discípulo de Zacuto, el portu-

(23) La obra náutica portuguesa más antigua es el *Regimento de declinação do Sol* (citado en *Portugal y los Descubrimientos*. Exposição Universal de Sevilha, 1992, p. 215). Las primeras guías náuticas conocidas son llamadas vulgarmente de Munich y Évora, la primera de ellas es un regimiento portugués ca. 1509, incunable conservado en la Biblioteca Real de Munich; de alrededor de 1516 se conserva la *Guía Náutica de Evora*, reedición con modificaciones de la *Guía de Munich*.

(24) El *boxoler*, identificado como Jafuda Cresques, hijo de Abraham Cresques, que cambió su apellido por Ribes.

gués José Vizinho (25) a quien cupo la gloria de comprobar el sistema fijando la posición geográfica de la línea ecuatorial en el golfo de Guinea, aprenderían los españoles.

En torno a la Casa de Contratación surgirán numerosos trabajos españoles de instrucción en las reglas de navegación destinados a los pilotos de la Carrera de Indias, con los títulos de regimiento o arte de navegar. A mediados del XVI se editaron obras de carácter más científico con el nombre genérico de tratados de la esfera. Recordamos aquí algunas obras: en primer lugar la más antigua de las conservadas, la *Suma de Geographia* de Martín Fernández de Enciso (1519); y entre otros trabajos posteriores, *El Tratado de la Esfera* del portugués, al servicio de España, Francisco Falero (1535); a Pedro de Medina, con su *Arte de Navegar* (1545), donde ignorando a los anteriores escribió: «digo aver sido yo el primero que reduxo la navegación a breve compendio»; o Martín Cortés, autor del *Breve compendio de la esfera* (1551); *Espejo de navegantes* de Alonso de Chaves (ca. 1538), o los tratados de la esfera de Rodrigo Zamorano, Diego García de Palacio, Gemma Frisio... en la misma centuria. Particularmente, Medina y Cortés serán traducidos a numerosos idiomas y servirán como libros de texto durante largo tiempo en diferentes países.

La longitud

Mientras que el cálculo de la latitud era dato cumplido para las costas africanas, la navegación oceánica precisaba del cálculo de la otra coordenada geográfica, la longitud. Llamada por los navegantes de la época «altura del lesteoeste», que juntamente con la latitud marcaba el grado, o lo que es lo mismo, fijaba con exactitud la posición de la nave, tardará aún muchos años en lograrse su cálculo por métodos astronómicos debido a la falta de instrumentos adecuados. Hasta entonces se deducirá normalmente por estima: el navegante estimaba la longitud durante la derrota a la llegada al punto de destino, y un promedio de las longitudes estimadas por los diferentes nautas solía aceptarse como la longitud oficial de los puertos; además se experimentaba en tierra por métodos astronómicos pues se sabía que la diferencia en longitud equivalía a la diferencia de horas de un mismo fenómeno astronómico observado en dos puntos distintos. El fenómeno a visualizar podrá ser un eclipse, la ocultación de un planeta o estrella por la Luna, el paso de un planeta por el Sol, y ocultaciones mutuas de Júpiter y sus satélites, siendo el medio más habitual los eclipses de Luna pues se producen simultáneamente para todos los observadores de la Tierra: conociendo por un almanaque las horas en que se producían los eclipses lunares del año, sólo tendrían que contemplar la hora en que se producían en otro lugar, y la diferencia en horas entre dos puntos de observación reducirla a grados de longitud (15° de circunferencia es el equivalente a una hora de tiempo, esto es $15'$ de arco = 1 mn),

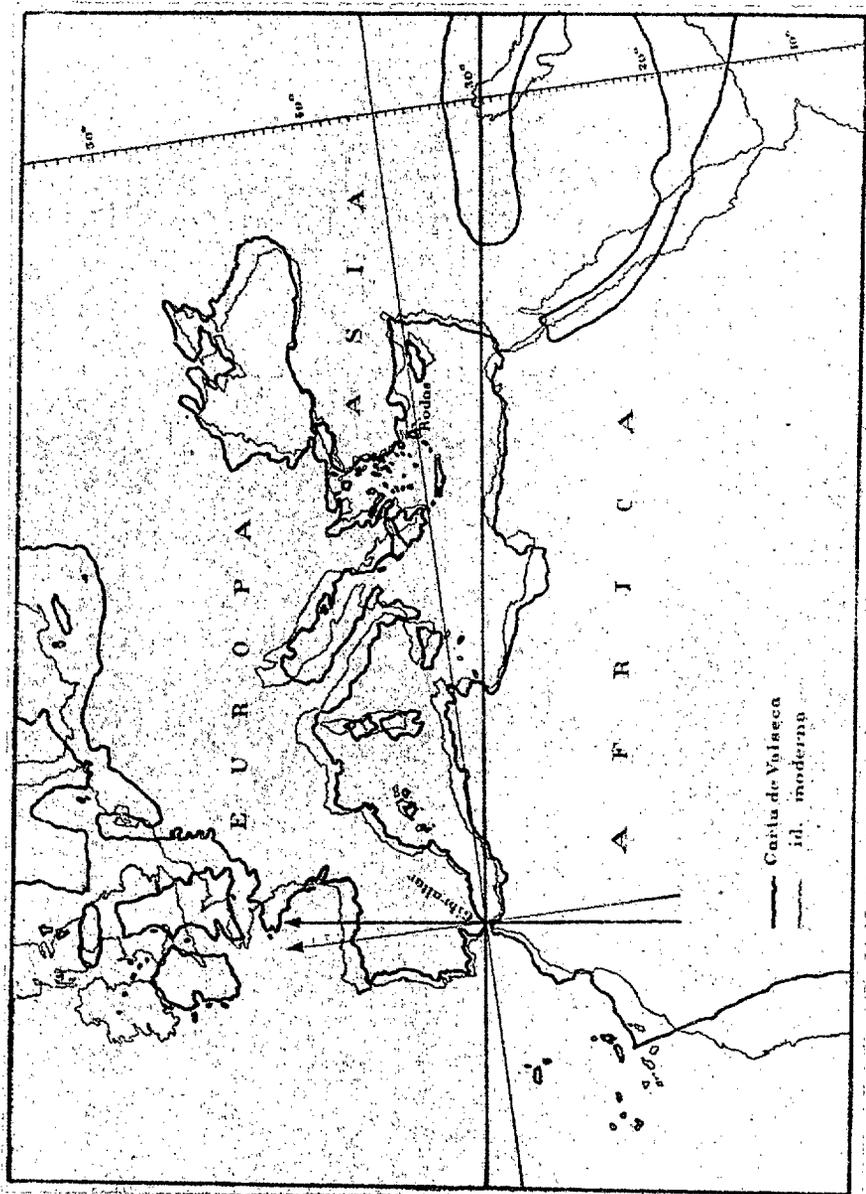
(25) Tradujo al latín el *Almanach Perpetuum* en 1496, cuyo original en hebreo había redactado Zacuto en torno a 1475.

de manera que la fiabilidad en la medida de longitud calculada dependía de la precisión con que se tomaba la hora en el lugar de observación; sin embargo, los errores que reportaban las dificultades de su observación y su exigua existencia desestimaban su uso. Colón intentó situar en el globo los lugares descubiertos utilizando dos determinaciones de longitud mediante observaciones de los eclipses de Luna de 14 de septiembre de 1494 y 29 de febrero de 1504, durante los viajes 2.º y 4.º respectivamente, sirviéndose de efemérides que le ofrecían las horas en que debían producirse dichos fenómenos en lugares conocidos de Europa, no obstante, no alcanzó precisión alguna en sus cálculos.

En el último cuarto de siglo, López de Velasco redactaba para cosmógrafos de los reinos de España una *Instrucción y advertimiento para la observación de los eclipses de luna que S. M. manda hacer este año de mil y quinientos y setenta y siete y quinientos setenta y ocho en las ciudades y pueblos de las Indias para verificar longitud y altura de ellos*.

De las noticias conservadas al respecto se deduce el importante hecho de que sí se debe al siglo XVI la idea fundamental, la teoría que determinaba la obtención de la longitud a bordo: se podían calcular los grados recorridos a través del conocimiento de las horas simultáneas en dos puntos, en el lugar de origen (primer meridiano) y en el lugar de observación; pero su práctica, que resultaba fiable en tierra firme, no lo era a bordo, puesto que la precisión exacta de la hora no era posible. Se presentaron distintas soluciones como la del portugués Juan de Lisboa en 1514 que, más tarde, en 1530, Juan de Castro reconoció como inapropiada. Ese mismo año, Gemma Frisio expuso el método del reloj portátil, idea que ya años antes expuso Fernando Colón en la Junta de Badajoz cuando se trataba de fijar el meridiano de demarcación acordado en Tordesillas. Consistía en poner en hora un reloj portátil al inicio de la derrota, y recorridas unas veinte leguas hallar de nuevo la hora con el astrolabio, esperando que caiga justamente sobre una línea horaria, de esta forma la diferencia entre la hora obtenida y la señalada por el reloj equivaldría a la diferencia de longitud. Alonso de Santa Cruz también investigó la manera de obtener la longitud a bordo mediante el conocimiento de la hora, sin embargo, su obra se mantuvo inédita (26). El método tardará en poder llevarse a la práctica debido a la irregularidad de los mecanismos horarios de la época, pues si de una parte el reloj de arena, ya impreciso, calculaba un mínimo de media hora, los relojes mecánicos tampoco serían provechosos, los de péndulo no servían a bordo por el balanceo del barco y los de muelles no ofrecían seguridad. Por otra parte, los

(26) SANTA CRUZ, Alonso de: *Libro de las longitudes y manera que hasta agora se ha tenido en el Arte de navegar*. Ms. de 1555, ed. de Antonio Blázquez. Sevilla, 1921. Santa Cruz, cosmógrafo mayor, buscó la forma de obtener la longitud a bordo por medio de los relojes, o del nordestear de la aguja, o mediante las distancias lunares de las estrellas fijas y la Luna; desafortunadamente su obra no salió a la luz pública hasta el siglo actual, en el año 1921. Bastantes tratados de náutica permanecieron sin editar, y es que a éstos, como a la elaboración de las cartas náuticas, también alcanzaba el secretismo ejercido por la Casa de la Contratación.



Esquema comparativo de la declinación de la carta de Valseca (1439) con el trazado actual.

relojes de sol eran de difícil manejo y no funcionaban cuando el Sol estaba cubierto; los nocturlabios (creación de Lulio), instrumento astronómico para calcular la hora de noche observando la estrella Polar, usando las guardas de la Osa Mayor o Menor como punteros, también exigían que el cielo estuviera descubierto. La cuestión era de tal importancia que Felipe III, en 1598, instituyó un importante premio para aquel que resolviera el problema de las longitudes; se presentarían numerosos candidatos entre los que se encontraba el propio Galileo (27).

La cuestión no se resolvió hasta la segunda mitad del siglo XVIII, con Berthoud y Harrison desarrollando el cronómetro marino, instrumento que medía el tiempo con precisión; casi al mismo tiempo, precedido en pocos años, se utilizará el método de las distancias lunares, sistema que siglos antes ya se experimentara ocasionalmente.

Declinación magnética, variación de la declinación y desvío de la aguja

Durante el siglo XVI se vendrá observando otra dificultad directamente relacionada con la longitud. Dicha cuestión consistía en que la dirección de la aguja magnética no marcaba la dirección del norte geográfico con exactitud, dejando un ángulo entre el norte geográfico y el marcado por la aguja, fenómeno que después se llamará declinación magnética y que se debe a efectos del magnetismo terrestre.

Considerando que la aguja se orientaba al Polo Norte, se comprobaba su desviación a la vista de la pequeña separación producida entre la flor de lis y la dirección de la Polar cuando las guardas estaban en la posición que debía indicar al observador que la Polar estaba exactamente sobre el Polo Norte y, consecuentemente, marcar la aguja la flor de lis. La aguja nordesteaba o noroesteaba según la flor de lis quedara al este o al oeste del Polo Norte; cuando se estaba en el meridiano verdadero, de declinación nula, la aguja oscilaba como una balanza.

La desviación de la aguja ya era más o menos conocida en el Mediterráneo, donde suponía una pequeña desviación en sentido nordeste con un valor bastante estable de unos 9° a 11°, no sobrepasando la cuarta, por lo que los pilotos debían corregir sus efectos para seguir el rumbo durante la navegación o, más frecuentemente, la ignoraban atribuyéndolo normalmente a una defi-

(27) Según despacho real emitido al virrey de Nápoles, duque de Osuna, el 28 de enero de 1620, Galileo propuso determinar las longitudes a bordo por las efemérides de los satélites de Júpiter (MARTÍNEZ-CAÑAVATE, Luis Rafael: *Trabajos astronómicos, geodésicos e hidrográficos*. Ministerio de Defensa. Madrid, 1994, p. 28). El sistema ofrece mayores ventajas que la observación de los eclipses de Luna, al ser muy frecuente mientras que los eclipses de Luna se producen solamente de uno a cinco al año y, además, son muy difíciles de observar en el instante en que comienzan; pero tampoco serán de gran utilidad los eclipses de los satélites de Júpiter para los nautas debido a que sólo pueden observarse durante el día, mientras no estén cerca del Sol, que impide su visión. La cuestión resuelta en teoría pero no así en la práctica, favorecerá que posteriormente ofrezcan algunos países más otros importantes premios para su resolución.

ciencia en la fabricación de la aguja, circunstancia que se vería corroborada por el trazado de las cartas de marear que, afectado por la declinación, coincidía con lo que marcaban las agujas (28). Nada se sabía de la existencia de una desviación en sentido oeste, o al menos nadie hizo constar de alguna manera este dato hasta que lo señaló Cristóbal Colón en el primer viaje, apreciando además una relación entre el cambio de longitud y la desviación de la aguja a 100 leguas al oeste de las Azores, comprobándolo después en la derrota de vuelta a la Península y en los siguientes viajes. En este sentido, en el diario de Colón, el día 13 de septiembre de 1492, leemos que «al comienzo de la noche las agujas noruesteaban y a la mañana nordesteaban algún tanto». La oscilación de las agujas mostraba que Colón cruzaba ese día una línea agónica del magnetismo terrestre, es decir, de declinación magnética cero, que entonces pasaba por aquel lugar; ese meridiano le servirá durante sus viajes como punto de referencia para estimar su posición en el mar. Días después, el 17 de ese mes, Colón advirtió la desviación de la aguja al oeste: «... tomaron los pilotos el Norte marcándolo y hallaron que las agujas noruesteaban una gran cuarta y temían los marineros... Conociólo el Almirante, mandó que tornasen a marcar el Norte en amaneciendo, y hallaron que estaban buenas las agujas».

El descubrimiento colombino de la anulación de la declinación al oeste de las Azores dio origen a la falsa idea de que esa línea era fija y que seguía la dirección del meridiano terrestre, considerándolo primer meridiano y adoptándose así como origen de medición de longitudes (29).

Por la influencia que la desviación de la aguja ejercía sobre las derrotas oceánicas su estudio cobrará especial interés para los nautas; cuestión que le llevó a realizar abundantes observaciones tratando de conocer su distribución en los mares donde ofrecía diferentes valores. El cosmógrafo portugués al servicio de España Francisco Falero, en su libro *Tratado de la Esphera y del Arte de Marear* (1535), alude a la desviación de la aguja y a los distintos valores que toma en diversos lugares del globo. Durante toda la centuria se expondrán dispares y variopintas teorías; muchos autores opinaban que la variación

(28) El largo período abarcado por la cartografía portulana, siglos XII-XIII al XVII, da muestra de su utilidad, representando un margen de error mínimo debido a que los valores de la declinación magnética en el Mediterráneo, durante siglos, fueron mínimos y de cierta estabilidad, lo contrario habría supuesto grandes dificultades en la navegación y en el trazado de las cartas, cuya declinación, sin corregir, representaba una media de los valores observados por los nautas, sin que se representaran valores diferentes en las diversas partes del trazado del portulano.

(29) Mientras que como origen del cálculo de latitudes se aceptaba la línea equinoccial, por primera vez representada correctamente en la carta de Juan de la Cosa en 1500, el punto de origen para medir la longitud, lo que denominamos Primer Meridiano, es decir, de longitud cero, no estaba establecido de forma general, desplazándose a diferentes puntos en virtud de conveniencias diversas, incluso políticas, desde que en la antigüedad lo fijó Ptolomeo en la isla de El Hierro, al ser la más occidental de las tierras conocidas y siguiendo el criterio de que la longitud se medía en un solo sentido. Al introducirse las cartas cuadradas se vio la necesidad de graduar el Ecuador y se consideraron diferentes primeros meridianos, e igualmente la confección de tablas astronómicas exigía un primer meridiano al que referir sus datos, optándose normalmente por el del lugar de fabricación, así, p.e., las alfonsinas referidas al meridiano de Toledo, las de Zacuto, a Salamanca, etc.

de la aguja se debía a la calidad del imán y trataban de corregirla lubricando con aceite el pivote de giro, así, p.e., Sarmiento de Gamboa en sus expediciones al estrecho de Magallanes (1580) cebando y reparándolas; otros acostumbraban trocar los aceros, o corregir la aguja, de manera que la flor de lis siguiera marcando el eje del mundo desplazándola una cuarta con lo cual el error aumentaba cuando la desviación cambiaba de valor; otros pensaban que se trataba de valores constantes directamente relacionados con los meridianos geográficos, así, p.e., João da Lisboa (1514) afirmaba que la variación de la aguja crecía al este o al oeste proporcionalmente a la diferencia de longitud, y que el meridiano de declinación nula —al que denomina «vero»— pasaba por las Azores (30); finalmente, muchos eran los que sencillamente dudaban de su existencia considerando la declinación magnética inalterable y que cualquier variación se debía a un error de apreciación.

En 1538, un importante piloto lusitano y futuro virrey de la India, Juan de Castro, registró diversas observaciones en su viaje a la India, comprobando que no había correspondencia entre la variación de la aguja y los meridianos geográficos de modo que en «un mismo meridiano pueden las agujas nordestear y noruestear más y menos» (31), y además notó el desvío que le causaba a la aguja la proximidad de los hierros por confluencias magnéticas locales al acercarse a las costas y/o por efecto de las masas de hierro repartidas en el propio buque; de esta forma advirtió que, además de la no coincidencia del norte magnético y el norte geográfico, tampoco la aguja se orientaba al norte magnético exactamente. Este desvío, añadido a la declinación magnética constituirá la desviación total, o ángulo a sumar o restar al rumbo de la aguja para obtener el verdadero camino del navío.

Por su parte, Alonso de Santa Cruz, a mediados de siglo, presentaba en su *Libro de Longitudes*, en la que puede considerarse primera carta magnética (fecha ca. 1536), una relación de valores, sobre la hipótesis de la proporcionalidad existente entre los cambios de longitud y los de declinación magnética, con el resultado de líneas de igual declinación —isógonas— de carácter fijo, de 15 en 15°; no obstante, Santa Cruz en otro capítulo del libro escribía: «Me quitó del todo el pensamiento de pensar que por la diferencia que hacía el aguja de marear se pudiese saber la longitud, ni que ella la hiciese en proporción». Aunque los valores expuestos no coinciden con la distribución real del fenómeno magnético, el hecho a destacar reside en que su propuesta de cartas magnéticas precedió en siglo y medio a Edmundo Halley, a pesar de que a éste se le ha reconocido como el inventor de la cartografía magnética, olvidando igualmente que hubo otros nautas, además de Santa Cruz, que en sus trabajos auguraron o recomendaron la fabricación de tablas de valores de declinaciones magnéticas, en ese sentido

(30) LISBOA, João da: *Livro da Marinharia*, ca. 1514 (citado en «Los instrumentos náuticos de los Descubrimientos». Estácio dos Reis, António, y Sousa Machado, Raul. *Rev. Oceános*. 1992, p. 89).

(31) CASTRO, João de: *Roteiro de Lisboa a Goa*. ca. 1539 (Estácio dos Reis y Sousa Machado, 1992, p. 89).

recordamos a Diego Ramírez de Arellano (1619), o el valenciano Pedro de Siria (1602), etcétera.

La continua aparición y comprobación durante este siglo de la declinación magnética en aguas oceánicas pondrá de manifiesto que la desviación de la aguja no presentaba valores constantes, que era distinta en cada meridiano y a lo largo de cada meridiano y que, además, era variable con el tiempo, anticipando así lo que se conocerá posteriormente como variación secular del geomagnetismo.

Martín Cortés, cuya obra náutica sólo se vio superada en difusión por la de su contemporáneo Pedro Medina, será el primero que escriba con carácter científico acerca del nordestear y noruestear de las agujas, mostrando con excepcional claridad la distinción entre el Polo de las agujas, o norte magnético, y el Polo del mundo, o norte geográfico, atribuyendo la desviación de la aguja a algo externo a la aguja, a lo que añade: «Muchas y muy diversas son las opiniones que he oydo, y en algunos modernos escritores leído... y a mi parescer ninguno da en el fiel y pocos en el blanco» (32). Pedro Medina, que en su *Arte de Navegar* (1545) negó la existencia de la declinación magnética argumentando que «no encuentra nada escrito de la variación en esta aguja, ni razón ni experiencia de ella que sea cierta», más tarde, en el *Regimiento de Navegación* (1563), volvió a plantearse la cuestión aceptando su existencia aunque sin reconocer claramente su origen o causa. Autores posteriores todavía dudarán o incluso negarán la existencia de la declinación magnética, y consecuentemente la variación de la misma, como, por ejemplo, Richard Polter (1586) que afirmaba que agujas cebadas con imanes diferentes daban distintas declinaciones, viniendo a decir que la razón de la desviación estaba en la calidad del imán (33).

A finales de siglo, cuando José de Acosta expone el fenómeno de la variación de la aguja al que denomina *declinación magnética*, dice: «Hay lugares donde puntualmente (la aguja) mira al Norte y se fija en él; en pasando de allí ladea un poco o al oriente o al poniente... Esta declinación o ladear de la aguja importa tanto saberla que aunque es pequeña, si no se advierte, errará la navegación» (34).

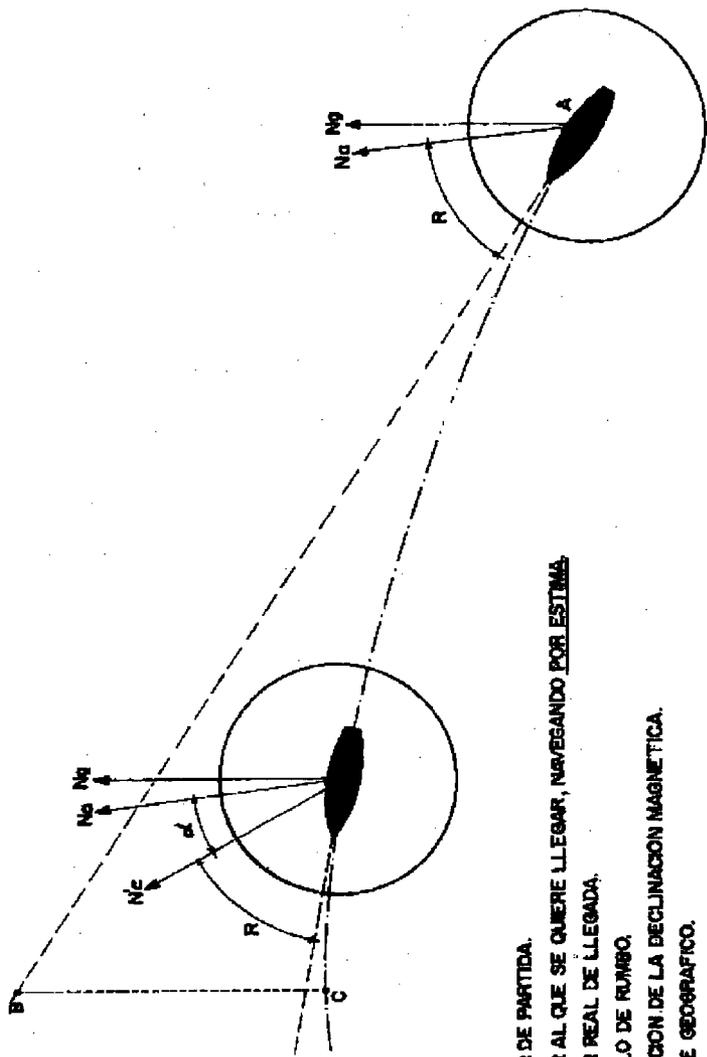
Corrección del rumbo de la aguja

Lo cierto es que, aún no existiendo un conocimiento claro del origen del fenómeno, sí se apreciaba claramente en las grandes distancias oceánicas que los errores causados por la declinación magnética (con diferentes valores) en el rumbo de las agujas provocaban situaciones erróneas de la nave, y deformaciones en el trazado de las cartas, no coincidiendo el rumbo que marcaban las agujas con los vientos de las cartas, por lo que los pilotos, para determinar el rumbo de la aguja, es decir, para orientar la navegación, o para trazar

(32) MARTÍN CORTÉS, 1551, cap. V, fol. 71v°.

(33) POLTER, Richard: *The Pathway to Perfect Sailing* (citado por Guillén Tato, 1945, en Introd. del *Breve Compendio de la Sphera* de Martín Cortés, p. 19).

(34) CEREZO MARTÍNEZ, R., 1994, p. 22. El fenómeno de la variación de la aguja está explicado detalladamente, acompañado de gráficos, en esta magnífica obra de cartografía.



- A—LUGAR DE PARTIDA.
- B—LUGAR AL QUE SE QUIERE LLEGAR, NAVEGANDO POR ESTIMA.
- C—LUGAR REAL DE LLEGADA.
- R—ANGULO DE RUMBO.
- d—VARIACION DE LA DECLINACION MAGNETICA.
- N_c—NORTE GEOGRAFICO.
- N_a—NORTE DE LA AGUJA EN A.
- N'_a—NORTE DE LA AGUJA EN B.

Explicación gráfica del error cometido en la latitud calculada por estima a causa de la variación de la aguja de marcar, en este caso de sentido noroeste. (T. de *La Cartografía Náutica española en los siglos XIV, XV y XVI*. Cerezo Martínez, Ricardo. Madrid, 1994, p. 46.)

la carta náutica, tenían que saber cuál era la declinación del lugar por el que navegaban, practicando su corrección cuando noroesteaba, sistema que denominaban «dar resguardo a la aguja»; relatos de la época nos describen la operación que, por la manera de efectuarla, se conocía como la «bendición del piloto»: «cuando el cielo empezaba a poblarse de estrellas y por el norte aparecía el septentrión de la Osa Menor, procedía el piloto oficial a comprobar la aguja; de pie sobre el puente, con la rosa delante, abierta la mano derecha, con la palma vertical al extremo del brazo extendido, en ademán de bendecir, cortaba el piloto varias veces el espacio, formando en las pasadas un plano de alíneación entre la Polar y la aguja para obtener la orientación» (35). Puede que se realizaran las primeras correcciones en los trazados de cartas a raíz de las observaciones practicadas en el viaje de circunnavegación de Magallanes-Elcano; se advierten las correcciones de los efectos de las declinaciones magnéticas en las cartas planisféricas denominadas de Castiglione y Salviatti, de 1525, hechas en la Casa de Contratación, cuya geografía está orientada al Norte verdadero o geográfico, y no al magnético (36). Aún a finales de siglo, el criterio para la corrección en los rumbos de la variación de la aguja no era unánimemente aceptado.

La gran escuela que supuso la navegación a Indias era oportunamente seguida y controlada desde la Casa de Contratación, fundamento de los estudios de los cosmógrafos mayores de la Casa de la que derivaban las correspondientes órdenes para mayor asentamiento de la ciencia náutica; por lo que respecta a la cuestión de la desviación de la aguja y su corrección no existía aún al final de la centuria un criterio firme; así, en sus instrucciones al cosmógrafo mayor de Indias Pedro Ambrosio, en 1596, se ordenaba «hacer dos padrones de la aguja de marear en que los aceros cebados con el imán, así del Norte como del Sur, no sean dos hierros juntos en aquella parte donde se ceban, sino uno solo en arpón, y el un padrón de estos esté cebado a la media cuarta, como se usa, y el otro debajo de la flor de lis, para que los pilotos las lleven ambas, una para navegar y otra para averiguar la variación de la aguja y sacar reglas para saber donde está» (37).

Epílogo

Para terminar diremos que en el siglo XVI el arte de la navegación y la construcción naval alcanzaron su techo, que no fue superado hasta el siglo XVIII. Contaron con una pléyade de grandes tratadistas, constituyendo el siglo de oro de la literatura náutica española, hasta el punto que el reconocido

(35) GARCÍA FRÍAS, 1974, p. 300.

(36) Se trata de cartas anónimas, la primera de ellas atribuida a Diego de Ribero, y la segunda a Nuño García de Toreno, regaladas por Carlos V a los obispos de los que han tomado el título, conservadas en la Biblioteca de Mantua y en la Laurenziana de Florencia respectivamente. Son copias del Padrón Real y ambas representan el litoral atlántico conocido, desde Terranova hasta el estrecho de Magallanes (Cerezo Martínez, 1994, pp. 186 y 259).

(37) GARCÍA FRANCO, 1947, t. I, p. 55.

y admirado académico almirante Guillén Tato apuntara la archiconocida frase: «Europa aprendió a navegar en libros españoles» (38). La creación de la Universidad de pilotos y la enseñanza náutica fueran consecuentes con la inmensa obra cultural y científica realizada por los cosmógrafos peninsulares de la época, a partir de la valiosa acumulación de datos y logros experimentados por los nautas en cada viaje, sus observaciones y experiencias recabados permanentemente por la Casa de Contratación desde 1503, año de su fundación.

De la misma manera y en igual o mayor medida debemos destacar la gran pericia de la mayoría de los pilotos ibéricos, hombres que carecían de los más elementales conocimientos, apenas sabían leer o escribir y sólo conocían mínimas reglas de aritmética, y sin embargo fueron grandes maestros en el arte de navegar, sirviéndose únicamente de la brújula y sobre todo de la experiencia acumulada durante generaciones, mostrándose reacios a aceptar los conceptos teóricos de los científicos. La efectividad de su pragmatismo no iba mal encaminada, sus navegaciones lo muestran y algunos detalles nos lo recuerdan como, por ejemplo, cuando Martín Cortés anota la distancia calculada por los astrólogos entre la Polar y el Polo de 4° 9', «aunque —señala Cortés— los marineros tienen que no se aparta más de tres grados y medio» (39). Curiosamente los marineros tendrán la razón, pues la distancia que ellos estimaban se acercaba más a la existente en esa época. Y es que la mayoría de los pilotos del siglo XVI supieron orientar sus rumbos en la práctica confiando más en las estrellas conocidas y sus conocimientos empíricos, método que realmente nunca se ha abandonado y que aún en el siglo actual se podía constatar entre los pescadores de altura de la Península, como así lo exponía el almirante Guillén Tato en su discurso de recepción en la Real Academia de la Historia en los años cuarenta: «tan apegados son éstos (los pescadores) a sus métodos y empirismos de todas suertes, que puedo asegurar que mis paisanos, los patrones de Santa Pola a Denia, que efectúan navegaciones comparables a las más temerarias de los siglos XIII y XIV, concurren a la pesquera que ellos llaman del Larach, en las que durante tres meses permanecen en aguas del Marruecos occidental, que no llevan carta alguna y es casi seguro que aún no se fían del todo de la aguja de navegar» (40).

En definitiva, se puede afirmar que si el siglo XVI puso los cimientos indispensables al desarrollo científico del XVIII, aportando las teorías necesarias a la navegación astronómica, la generalidad de las navegaciones mediterráneas, pero también oceánicas hasta mediado el XVI, se guiaron por las estrellas conocidas, sin instrumentos auxiliares de observación, y por los elementos naturales, escuela empírica fabulosamente expandida en la Carrera de Indias que, nos atrevemos a decir, frente a las hipótesis de los científicos, ha mante-

(38) GUILLÉN TATO, J., 1945, en *Introd. al Breve Compendio de la Sphera* de Martín Cortés, p. 21.

(39) *Ibidem.*

(40) GILLÉN TATO, J., 1943, p. 25.

nido durante siglos en todo su valor la regla que del siglo XVI nos transcribiera Martín Fernández de Navarrete dos centurias después: «Primeramente han de saber los mareantes que en un tiempo o en otro han de llamar a Dios o a lo menos temello mucho en adversidad... para librarlos de tantos peligros y llevarlos a buen puerto» (41).

(41) *Tratado de Navegación y de la longitud o altura del este a oeste*. Sevilla, 28 de septiembre de 1793, ms. en AG.I, (FERNÁNDEZ DE NAVARRETE, Martín, *Revista General de Marina*, abril 1893, pp. 379-394).