Arte, Ciencia y Técnica de la Navegación en la Era de los Descubrimientos*

Capitán de Navío
Juan Génova Sotil

Los origenes

Los navegantes de la antigüedad solían apartarse poco de la costa, salvo por accidente. La escasa potencia y autonomía de su principal medio de propulsión, el remo, les obligaba a navegar solamente durante los meses de buen tiempo y en horas diurnas, y el único instrumento náutico de que disponían era el escandallo. Más que verdadera navegación era un practicaje costero en el que el acierto o el error dependían exclusivamente de la habilidad y experiencia del navegante en el reconocimiento de la costa y sus accidentes; podía, pues, decirse que sólo por *arte* alcanzaba buen puerto salvando dificultades y peligros.

El uso de la vela permitió prolongar cada vez más las navegaciones; podían abreviarse las derrotas atajando de punta a punta sin seguir tan estrechamente el contorno de la costa, y perderla temporalmente de vista durante un tiempo cada vez mayor hasta tener una nueva referencia, que acabaron por encontrar también fuera de la Tierra en la estrella Polar, aparentemente inmóvil en un punto del cielo. En el norte de Europa, las características de las costas eran diferentes y durante siglos se navegó sin perderlas de vista: así llegaron los vikingos hasta el mar Negro. En la época de los descubrimientos se llamaba a estos pilotos " de costa y derrota", mientras que los oceánicos fueron conocidos como de "altura y escuadría".

Rumbo y fantasía

Conociendo el rumbo de un punto a otro y la distancia aproximada entre ambos, deducidos de la experiencia, se navegó por el Mediterráneo con aceptable aproximación. Al punto estimado llamábase "de fantasía": *Hállase este punto en la carta, tomando del tronco de leguas entre las puntas del compás, las leguas que conforme a buen juicio puede aver andado la nao: y puesta la una punta de este compás en el lugar de donde partístes, asentaréis la otra punta de suerte que ambas ygualmente disten del rumbo, o viento por donde navegastes: y donde esta segunda punta del compás cayere, allí está vuestra nao, conforme a vuestra fantasía.* (Rodrigo Zamorano, 1588).

---

*De: Revista General de Marina, Madrid, España, Agosto-Setiembre de 1992

El primer elemento racionalizador en el que la tecnología acudía en auxilio del arte del navegante fue la aguja magnética. Sin detenernos en sus remotos orígenes, parece que su uso náutico data de fines del siglo XII o principios del XIII. En España la citan Alfonso X el Sabio (1221 - 1284) en las *Partidas* y el *Lapidario* y el beato Ramón Llull (Raimundus Lulius, 1235 - 1315) de manera inequívoca y como instrumento de navegación ya bien conocido. Para el adecuado empleo de las agujas se desarrollaron las cartas de navegar; es cierto que ya en la antigüedad se habían confeccionado representaciones de la Tierra conocida, pero con finalidad distinta, pues ni el tipo de proyección empleado ni las escalas utilizadas las hacían adecuadas para la navegación. La cartografía y la construcción de agujas de marear estaban, pues, íntimamente relacionadas, de ahí que en ambas destacara, por ejemplo, la célebre escuela mallorquina del siglo XIV. Las primitivas cartas estaban construídas para navegar de un puerto a otro, por lo que se llamaron portulanos, y eran arrumbadas, sin escalas de latitudes o longitudes, pero surcadas de líneas rectas orientadas a todos los vientos para, sobre ellas o paralelamente, trazar las derrotas cuyos rumbos se obtenían en las diversas rosas que las decoraban tomando las distancias en el *tronco de leguas*, o escala de distancias. En las cartas se representaban la línea de la costa con sus accidentes más notables y toda la toponimia posible, obteniendo estos puntos por la demora y la distancia entre unos y otros; pero en la era descubridora se introdujeron profundas modificaciones en este sistema, puesto que no siempre se utilizaban para navegar de un punto conocido a otro, sino que a menudo se trataba de incluir nuevos accidentes, incluso territorios enteros, o modificar la situación de los establecidos por expediciones anteriores. Nacieron así unas cartas cuadradas, divididas por meridianos y paralelos en las que podían situarse los puntos por su latitud y longitud (aunque ésta fuera más o menos hipotética) , que al principio seguían conservando rosas, líneas de rumbo y troncos de leguas como los portulanos. El efecto de la convergencia de los meridianos se obviaba mediante unas tablas en las que se indicaba el *número de minutos que tenía cada grado de paralelo según su latitud*, de modo que siendo todos los minutos de longitud iguales, los grados tenían menos minutos a medida que aumentaba la latitud.

La proyección de Mercator (Gerhard Kremer, 1512 - 94), que resolvía el problema, tardó, no obstante, bastante tiempo en difundirse.

La declinación magnética

La desviación del norte de la aguja del verdadero no fue descubierta por Colón, como han interpretado algunos autores: del texto del *Diario*, lo que se deduce es más bien que advirtió que no era constante, de lo que ya existe alguna referencia en época tan anterior como 1380. El 13 de septiembre de 1492 anotó en su Diario que *las agujas noruesteaban*, y en 1498 escribió a los Reyes Católicos que... *las agujas de marear, que fasta entonces nordesteaban, noruestean* (en Haití, desde donde escribía) *una cuarta de rumbo todo entero*. No fue fácil desterrar la costumbre de los pilotos "de costa y derrota" convertidos en oceánicos (los portugueses no lo hacían) de desviar la rosa de la aguja en sentido contrario a la declinación la media cuarta al nordeste que

declinaba en Europa, de manera que la flor de lis apuntara al norte verdadero, a lo que se llamaba *trocar los aceros*. Todavía en 1575 escribía Escalante de Mendoza:

Materia es muy tratada y disputada entre los cosmógrafos y marineros sobre si será bien enmendar el defecto de la aguja; y los que no advierten los inconvenientes que en ello hay y podría haber concluyen que sería bien que se enmendase; lo cual, si se hiciere, sería grandísimo error, falsedad y engaño que recibiría todo hombre que navegase por derrota, porque a mudarles los aceros sería mudarles el blanco y puntería de toda su navegación.

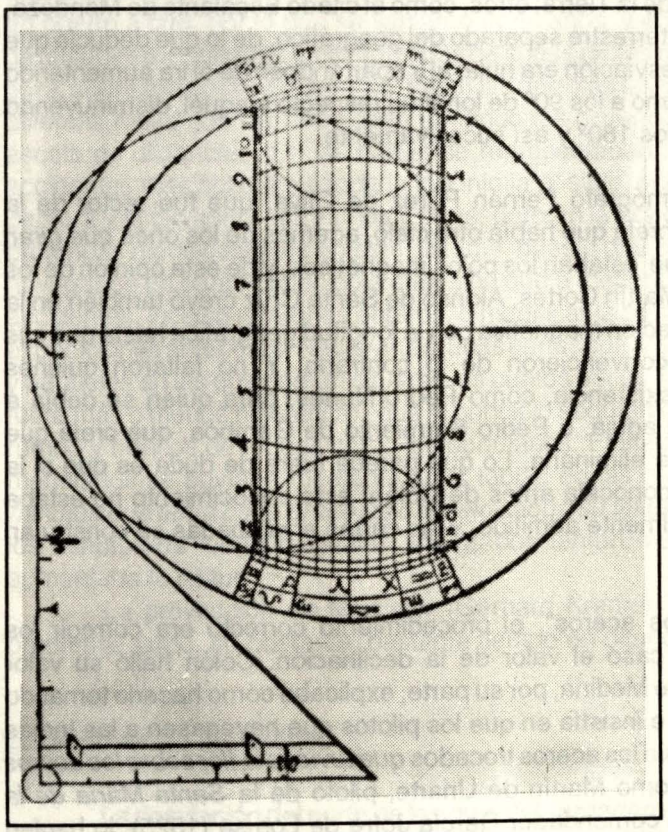
Este "defecto" se explicaba de diferentes formas: algunos lo atribuían a diferencias en la esfericidad de la Tierra; otros, como el citado Escalante de Mendoza, creían en un polo magnético terrestre separado del geográfico, de lo que deducía que si en un cierto meridiano la desviación era nula, al ir apartándose de él ira aumentando hasta alcanzar un valor máximo a los 90º de longitud respecto a aquél, disminuyendo luego hasta volver a cero a los 180º y así sucesivamente.

El humanista y cosmógrafo Fernán Pérez de Oliva, que fue rector de la Universidad de Salamanca, creía que había otro cielo, además de los once *que giran en la rotación diurna*, en el que estaban los polos magnéticos, y de esta opinión de los polos celestes era también Martín Cortés, Alonso de Santa Cruz creyó también en la proporcionalidad de la declinación magnética con la longitud geográfica hasta que sus propias investigaciones le convencieron de lo contrario. Y no faltaron quienes negaban, simplemente, su existencia, como Pedro Nunes, para quien se debía a pérdida de imantación de la aguja, o Pedro Sarmiento de Gamboa, que creía que bastaba aceitar el estilo para eliminarla. Lo que parece fuera de duda es que si la declinación de la aguja era conocida antes de Colón, este conocimiento no estaba difundido, ni siquiera generalmente admitido, y las cartas arrumbadas se construían según rumbos magnéticos.

Aparte de "trocar los aceros", el procedimiento correcto era corregir los rumbos aplicando en cada caso el valor de la declinación. Colón halló su valor marcando a la Polar; Pedro de Medina, por su parte, explicaba cómo hacerlo tomando marcaciones a esta estrella, e insistía en que los pilotos que navegasen a las Indias llevaran al menos una aguja sin los aceros trocados *que tuviese la flor sobre los aceros justamente puesta*. Otros, como Martín de Uriarte, piloto de la *Santa María de la Victoria*, dela expedición del comendador García Jofre de Loaísa (1525), lo hacían marcando al Sol en la meridiana, tal como dice en su diario del viaje. A pesar de ello, muchos seguían apegados a la vieja costumbre, y así se llegaron a cartografiar doblemente las costas del Nuevo Mundo, situando los puntos por distancias y rumbos magnéticos y además por latitudes, obtenidas astronómicamente, de modo que aparecían dos líneas de costa con diferente orientación.

Tomar el azimut del Sol en la meridiana sin una alidada apropiada era incómodo e impreciso - solía hacerse por medio de las sombras de pínulas puestas

sobre el mortero que contenía la aguja -, mientras que las marcaciones a la Polar resultaban difíciles en las bajas latitudes por las que con mayor frecuencia navegaban nuestros descubridores e imposibles en el hemisferio Sur, aunque en éste se utilizaban ya las estrellas de la Cruz del Sur. Apareció así el procedimiento de marcar el Sol al orto y ocaso: Martín Cortés, entre otros, describe un instrumento para *saber las horas y cantidades del día y a qué viento sale y se pone el sol;* en 1600 João Baptista Lavanha publica sus *Tabuas da largura urtiva de leste a oeste* y, poco después; Manuel de Figueiredo la *Taboa de apartamento do Sol ao nascer de Leste.* Un documento de 1609 refiere una experiencia realizada en una navegación de Acapulco a Manila, en la que se obtuvieron 21 valores de la declinación magnética por medio de las *grandezas ortivas y occiduas del Sol* (1), pero sólo tres años antes aún no estaba este



Instrumento para "saber las horas y cantidades del día y a qué viento sale y se pone el Sol".(Martín Cortés, "Breve compendio de la Sphera y del Arte de Navegar").

(1) El experimento tenía por objeto comprobar si la variación de la declinación magnética dependía o no del buque, así como si podía servir para determinar la longitud. Para ello se instalaron tres agujas a proa, en el centro y a popa del galeón, realizándose las observaciones entre el 29 de marzo y el 11 de junio, concluyéndose, respecto a lo primero, que la declinación dependía de causas externas al buque (la influencia de materiales magnéticos como la clavazón, anclas e incluso artillería era, por lo que se ve, desdeñable y no producía desvíos), pués las tres agujas siempre dieron lecturas iguales en cada observación, y en cuanto a lo segundo, que su variación distaba mucho de ser proporcional a la longitud geográfica, aun calculada por estima. (Colección Salazar y Castro. F-16. Real Academia de la Historia.)

método bastante extendido, como lo prueba que en las instrucciones de Pedro Fernández de Quirós a sus pilotos dijera que se obtuviese la declinación *por el sol y estrellas conocidas cuando estuvieren en el meridiano*, y en la relación de su viaje deja constancia, así mismo, *que por ser este día* (21 de marzo de 1606) *del equinoccio se marcaron las agujas al salir y poner el sol, y se halló que tenían de variación media cuarta al Nordeste*, aprovechando así una de las dos únicas ocasiones del año en que la amplitud es nula. Ya en 1734 hallamos unas tablas de amplitudes muy completas, válidas entre 0º y 60º de latitud, en la *Navegación Especulativa y Práctica*, de González Cabrera.

El rumbo, pues, podía calcularse con la precisión que proporcionaba un instrumento técnicamente maduro y el auxilio de la ciencia astronómica.

La distancia

Si para el seguimiento del rumbo se contó con el medio adecuado, no puede decirse lo mismo para la medición de la distancia. No había instrumento alguno para ello, y aquí eran el arte del piloto y su experiencia los únicos fundamentos para la estimación de la velocidad, de la que deducir la distancia navegada; en definitiva, *ojo marinero*, algo prácticamente imposible de transmitir: *Esto no tiene certeza, si no a poco más, o menos, según el buen Marinero juzga que puede aver andado conforme a su fantasía, de lo qual tomó este punto el nombre* (R. Zamorano).

Aunque se citan inventos, como una suerte de *aceña de molino* mencionada por Fernando Colón, hijo del almirante, en la Junta de Badajoz, o el mecanismo de Vitruvio, ya en el siglo I de nuestra era, no parece que fueran de utilidad práctica. Pigafetta, en su crónica del viaje de Magallanes, se refiere a una *cadena de popa*, que tampoco describe, aunque pudiéramos conjeturar que, remolcada, su mayor o menor tensión podría dar idea de la velocidad. La corredera de barquilla, cuya primera descripción conocida se debe a William Bourne (1577), tardó en difundirse aunque se siguiera empleando hasta época bastante moderna; no obstante, cualquiera de estos sistemas sólo medía la velocidad en el momento de su utilización sirviendo así nada más que para comprobar la estimación de la velocidad. De una nao, decía Pedro de Medina, que *lo más que puede correr es en una hora cuatro leguas, en una hora tres leguas es mucho correr, y en una hora dos leguas es razonable. . .* , es decir, una velocidad máxima de 13.7 nudos, que es andar muy respetable y de 6.8 y 3.4 nudos, respectivamente.

La estima o "fantasía" era, pues, el procedimiento básico de navegación y se procuraba afinarla; un piloto que "tantease" bien era más apreciado que otro, quizá con más bagaje teórico, pero menos experiencia práctica. Corregían sus rumbos por su "decaída" o abatimiento y tenían en cuenta las corrientes cuando eran conocidas. El Atlántico, en el siglo XVI, estaba muy concurrido por los pilotos de la Carrera de Indias y las derrotas se habían comprobado por la experiencia de muchos; valga como ejemplo el parecer de sesenta y seis de ellos sobre las distancias entre las islas de Gomera y Dominica. Deseada y otras del grupo de Barlovento; cuarenta y cuatro

dieron la distancia con un error máximo del 5 por 100; diecisiete, entre el 5 y el 10 por 100 y sólo cinco cometieron en su apreciación un error superior al 10 por 100. Aun así, todavía en 1764 el navegante francés Louis Antoine de Bougainville consignaba un error de nada menos que 4º 7' al oeste en su derrota desde Finisterre a la isla de Hierro; téngase en cuenta, empero, que no disponía de la información sobre las corrientes que era familiar a los pilotos españoles en estas aguas. Por otro lado, la derrota transpacífica no era tan frecuentada commo las atlánticas y, por ende, sus corrientes menos conocidas; la navegación hacia el oeste se hacía a favor de la corriente ecuatorial del norte, de modo que la distancia entre Nueva España y Filipinas, que es realmente de 8,570 millas (2,500 leguas), en el siglo XVI se tenía por cierto que era sólo de 1,500 leguas (5,143 millas), diferencia realmente muy grande. En el hemisferio Sur, aun menos frecuentado, ocurría lo propio, y el error en el cálculo de la distancia navegada bajo el influjo de corrientes desconocidas tuvo consecuencias importantísimas, como veremos al tratar de la longitud.

La escuadría

En anterior cuaderno monográfico de esta Revista, se exponía cómo los navegantes portugueses, a su regreso de Mina o Guinea se veían obligados a adentrarse o engolfarse en el Atlántico perdiendo de vista la costa durante periodos de tiempo más o menos largos, y cómo recurrieron a la altura de la Polar como referencia, primero, y para calcular la latitud después, aunque parece que los fenicios ya lo habían hecho mucho antes. El corte de la línea de la derrota, de marcada componente norte-sur en las navegaciones a longo de Africa, con el paralelo de una determinada latitud era casi ortogonal, con lo que se obtenía una situación más precisa que la del dudoso *punto de fantasía*; a aquél llamábase *punto de escuadría*, en el que no intervenían los errores de cálculo en la distancia. Alcanzada la latitud de un lugar no había sino que *correr el paralelo* para llegar a él.

La latitud

La conversión de las alturas de la estrella del Norte en latitudes se hacía por medio de diversos artificios según la posición relativa de ésta con las estrellas próximas (*guardas de la Polar*), como el del imaginario "hombre del Polo"; la exactitud dependía de la calidad del instrumento y de la habilidad del piloto; por otro lado, cosmógrafos y marinos no estaban de acuerdo en la separación entre la Polar y el polo celeste; para el portugués Pedro Nunes, basándose en cálculos de Johannes Werner, era de *quatro graus e nove ou dez minutos*, y con él estaban prácticamente todos los cosmógrafos. Los marinos no se sabe si por experiencia o intuición, creían, en cambio, que era de tres grados y medio, y aunque Martín Cortés decía que *más crédito se debe dar a los astrólogos que a los marineros*, lo cierto es que éstos estaban más cerca de la realidad, pues el error que cometían era de 12', mientras que el de los primeros superaba los 27'. Otro procedimiento para obtener la latitud era la observación de la altura meridiana del Sol; conocida su declinación, era muy sencillo su cálculo. Aquí, tanto la ciencia como la tecnología, estaban a la altura de las circunstancias, pues

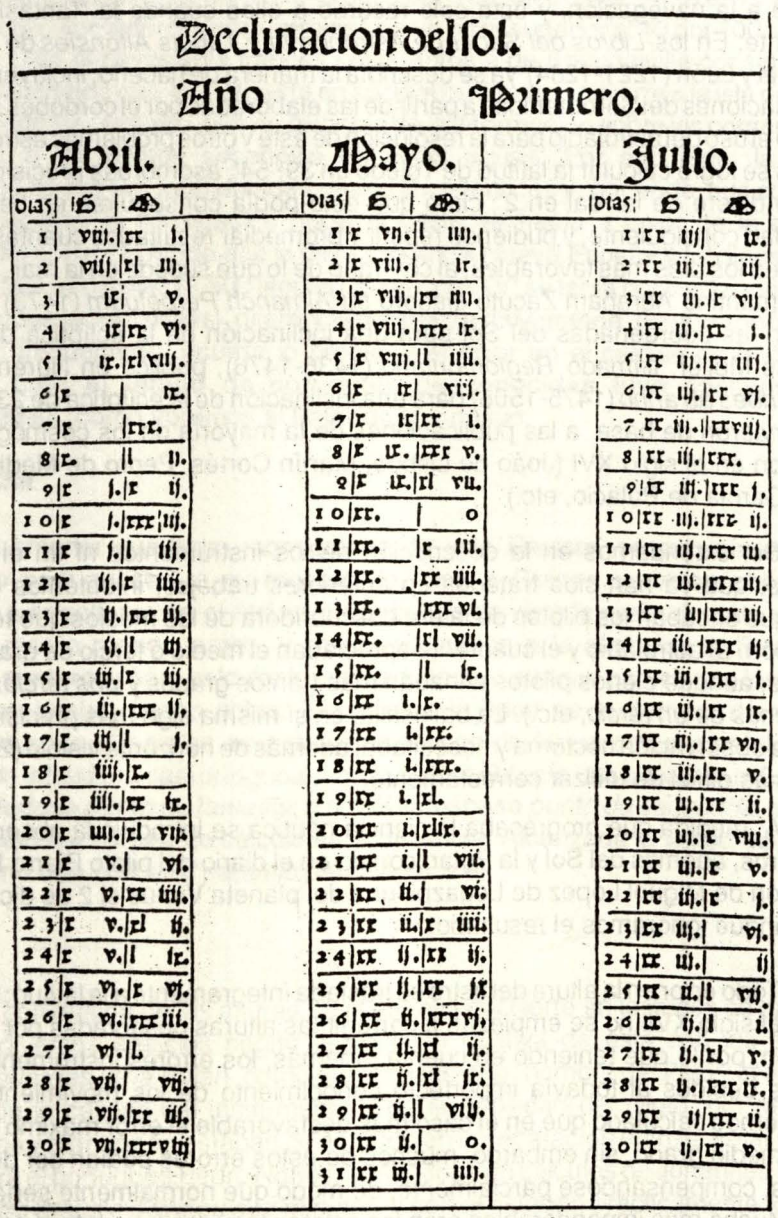
ambos procedimientos eran conocidos de los astrónomos desde mucho antes de aplicarse a la navegación, y ésta solo recurrió a ellos cuando la "fantasía" resultó insuficiente. En los *Libros del Saber de Astronomía y Tablas Alfonsíes* de Alfonso X de Castilla y León (1221-1284) ya se describía la manera de hacerlo, incluyendo tablas de declinaciones del Sol obtenidas a partir de las elaboradas por el cordobés Azarquiel, así como el uso del astrolabio para la resolución de éste y otros problemas astronómicos; con ellos se logró calcular la latitud de Toledo en 39º 54', asombrosa precisión, puesto que sólo difiere de la real en 2'; claro que esto podía conseguirse en tierra con la inmovilidad consiguiente, y pudiendo repetir y promediar resultados cuantas veces se quisiera en los días más favorables, al contrario de lo que sucede en la mar. El famoso judío salmantino Abraham Zacuto elaboró su *Almanch Perpetuum* (1473) en el que figuraban las coordenadas del Sol para una inclinación de la eclíptica de 23º 33'; Johannes Müller, llamado *Regiomontano* (1436-1476), publicó en Nüremberg sus *Ephemerides ab anno* (1475-1506) para una inclinación de la eclíptica de 23º 30' ; una y otra sirvieron de base a las publicaciones de la mayoría de los cosmógrafos que florecieron en el siglo XVI (Joáo de Lisboa, Martín Cortés, Pedro de Medina, Pedro Nunez, García de Palacio, etc.).

Sin extendernos en la descripción de los instrumentos ni en el modo de utilizarlos, que ya han sido tratados en anteriores trabajos, intentemos evaluar el partido que sacaban los pilotos de la era descubridora de los medios que tenían a su disposición. El astrolabio y el cuadrante apreciaban el medio o tercio de grado, según los casos, aunque ciertos pilotos afinaban más (tantos grados y *dos tercios largos,* o *poco menos de un tercio*, etc.). La ballestilla, en sí misma algo más precisa, era sólo apta para observación nocturna y necesitaba, además de horizonte visible (2), pero era mucho más difícil de utilizar correctamente.

A medida que progresaba la ciencia náutica se introdujo la observación de otros astros, además del Sol y la Polar: consta en el diario del piloto Pierre Plun, de la expedición de Miguel López de Legazpi, una del planeta Venus el 2 de diciembre de 1564, aunque ignoramos el resultado.

Todo error en la altura del astro se traslada íntegramente a la latitud; hasta muy entrado el siglo XVII no se empiezan a corregir las alturas observadas por paralaje y refracción, por lo que teniendo en cuenta, además, los errores instrumentales y los tabulares debidos al todavía imperfecto conocimiento de los movimientos de los astros, hemos calculado que en el caso más desfavorable el error máximo estaría en torno al medio grado; sin embargo, muchos de estos errores podían ser de sentidos opuestos, compensándose parcialmente, de modo que normalmente sería bastante menor. Mucho más imponderables eran los errores humanos; la demanda de pilotos era tal que el curso preceptivo para obtener el título en la Casa de Contratación, que al principio duraba un año, se redujo a tres meses en 1555 y a dos en 1567; al año

(2) Más adelante se utilizó un dispositivo que permitía tomar la altura del Sol dándole la espalda, mediante su sombra.



Declinacion del sol.

Año Primero.

Abril.		Mayo.		Julio.	
Dias	☉ ♈	Dias	☉ ♈	Dias	☉ ♋
1	viij. xx j.	1	x vij. l iiij.	1	xx iij. ix.
2	viij. xl iij.	2	x viij. ix.	2	xx iij. x ij.
3	ix v.	3	x viij. xx iij.	3	xx iij. x vj.
4	ix xx vj.	4	x viij. xxx ix.	4	xx iij. xx j.
5	ix. xl xiij.	5	x viij. l iiij.	5	xx iij. xx iiij.
6	x ix.	6	x ix vij.	6	xx iij. xx vj.
7	x xxx.	7	x ix xx i.	7	xx iij. xx viij.
8	x. l ij.	8	x ix. xxx v.	8	xx iij. xxx.
9	x j. x ij.	9	x ix. xl vu.	9	xx iij. xxx j.
10	x j. xxx iij.	10	xx. o	10	xx iij. xxx ij.
11	x j. l iij.	11	xx. x iij.	11	xx iij. xxx iij.
12	x ij. x iiij.	12	xx. xx iiij.	12	xx iij. xxx iij.
13	x ij. xxx iij.	13	xx. xxx vj.	13	xx ij. xxx iij.
14	x ij. l iij.	14	xx. xl vij.	14	xx iij. xxx ij.
15	x iij. x iij.	15	xx. l ix.	15	xx ij. xxx j.
16	x iij. xxx ij.	16	xx i. x.	16	xx ij. xx jx.
17	x iij. l j.	17	xx i. xx.	17	xx ij. xx viij.
18	x iiij. x.	18	xx i. xxx.	18	xx iij. xx v.
19	x iiij. xx ix.	19	xx i. xl.	19	xx ij. xx ij.
20	x iij. xl vij.	20	xx i. xlix.	20	xx ij. x viij.
21	x v. vj.	21	xx i. l vii.	21	xx ij. x v.
22	x v. xx iiij.	22	xx ij. vi.	22	xx iij. x j.
23	x v. xl ij.	23	xx ij. x iiij.	23	xx iij. vj.
24	x v. l ix.	24	xx ij. xx ij.	24	xx ij. ij
25	x vj. x vj.	25	xx ij. xx jx	25	xx ij. l viij.
26	x vi. xxx iiij.	26	xx ij. xxx vj.	26	xx ij. l i.
27	x vj. l.	27	xx ij. xl ij.	27	xx ij. xl v.
28	x vij. vij.	28	xx ij. xl jx.	28	xx ij. xxx ix.
29	x vij. xx iij.	29	xx ij. l viij.	29	xx ij xxx ij.
30	x vij. xxx viij	30	xx ij. o.	30	xx ij. xx v.
		31	xx iij. iiij.		

Tablas de declinaciones del Sol (segundo trimestre del primer año después de bisiesto). Esta edición tiene la curiosidad de la errata que hace figurar «julio» donde debería decir «junio» (las declinaciones corresponden efectivamente a junio). Obsérvese que se calcularon para una inclinación de la eclíptica de 23° 33' y que esta declinación máxima, correspondiente al solsticio de verano, aparece los días 11, 12 y 13 de junio debido a que aún no se había introducido la reforma gregoriana en el calendario. Del *Arte de Navegar*, de Pedro de Medina.

Abril. Declinacion.			Mayo Declinacion			Iunio Declinacion.		
Diss.	Grs.	Min.	Diss.	Grs.	Min.	Diss.	Grs.	Minu
1	8	13	1	17	45	1	23	5
2	8	28	2	18	4	2	23	9
3	8	57	3	18	19	3	23	13
4	9	18	4	18	34	4	23	16
5	9	40	5	18	48	5	23	19
6	10	1	6	19	2	6	23	22
7	10	24	7	19	16	7	23	24
8	10	44	8	19	30	8	23	26
9	11	5	9	19	43	9	23	27
10	11	25	10	19	55	10	23	28
11	11	45	11	20	8	11	23	28
12	12	6	12	20	20	12	23	28
13	12	20	13	20	32	13	23	28
14	12	46	14	20	43	14	23	27
15	13	6	15	20	54	15	23	26
16	13	25	16	21	5	16	23	24
17	13	44	17	21	15	17	23	22
18	14	3	18	21	25	18	23	19
19	14	22	19	21	35	19	23	16
20	14	41	20	21	43	20	23	13
21	14	59	21	21	53	21	23	10
22	15	17	22	21	2	22	23	6
23	15	35	23	22	10	23	23	1
24	15	52	24	22	17	24	22	56
25	16	10	25	22	24	25	22	51
26	16	27	26	22	31	26	22	45
27	16	44	27	22	30	27	22	38
28	17	0	28	22	44	28	22	32
29	17	17	29	22	50	29	22	26
30	17	33	30	22	55	30	22	17
			31	23	0			

Tablas de declinaciones del Sol, correspondientes al mismo período que las de Pedro de Medina, del *Compendio de la Arte de Navegar*, de Rodrigo Zamorano. Es interesante compararlas con las de Medina: aquí la máxima declinación es de 23° 28', mucho más aproximada a la inclinación real de la eclíptica, pero las fechas son todavía anteriores a la reforma del calendario.

siguiente se incluyeron también en el cómputo los días festivos. Los pilotos escogían esta profesión unas veces por afán de aventuras, como Escalante de Mendoza, que relataba haberse embarcado a los doce años abandonando los estudios que su padre suponía que seguía cursando o, como era más frecuente, para ganarse la vida, en cuyo caso solían ser de extracción cultural más baja, lo que dificultaba una preparación más adecuada.

En cifras, por vía de ejemplo, en las latitudes observadas por el piloto Francisco Albo durante el viaje de Magallanes, de un total de 25 puntos comprobados con datos actuales, el error máximo cometido fue de 30'; el mínimo de 0' y el medio de 11'.

Otro ejemplo nos muestra la latitud de un mismo lugar obtenida por distintos pilotos; se trata del puerto de Navidad (México), del que los de la expedición de Legazpi dan las siguientes :

Esteban Rodríguez (piloto mayor) y Jaime Martínez Fortún.	19º 1/2
Rodrigo de Espinoza	19º 1/3
Pierre Plun	19º 1/4
Latitud real	19º 12'

Lo que supone errores de 18', 8' y 3' respectivamente.

Aunque con los instrumentos disponibles sólo podía medirse el tercio o cuarto de grado, con frecuencia se daban latitudes en grados y minutos debido a que las declinaciones venían tabuladas así y reducirlas a esas fracciones de grado hubiese degradado la precisión, por lo que lo lógico era proceder a la inversa.

Llegado este punto, resultaba obligado referirse a la célebre latitud de la isla de Cuba consignada en el Diario de Colòn. Dice fray Bartolomé de Las Casa (30 de octubre de 1492):

Al parecer del Almirante, distaba de la línea equinoccial 42 grados hacia la banda del Norte si no está corrupta la letra de donde trasladé esto . . . .

Y más adelante (2 de noviembre) :

Aquí tomó el Almirante la altura con un cuadrante esta noche y halló que estaba en 42 grados de la línea equinoccial.

Se han hecho toda clase de conjeturas en torno a este error de más de veinte grados; que no sabía manejar el cuadrante o que lo hacía muy mal, que utilizó un instrumento graduado en medios grados tomándolo por enteros, que lo hizo mediante un tosco traslado de la estima. . . hipótesis todas fácilmente desechables; no podía esperarse tal incompetencia en quien decía de sí mismo que *yo he estado veintitrés años en la mar sin salir de ella tiempo que se haya de contar, y ví todo el Levante y el*

Poniente, que hice por ir al camino de Septentrión que es Inglaterra, y he andado la Guinea. . . o que se atrevió a calcular la longitud de Jamaica años después, en lo que parece ser el primer intento de obtenerla (aunque con poco éxito, como veremos). No era ignorante en cuestiones de astronomía: el 13 de enero de 1493 menciona el Diario su deseo de observar una conjunción de Luna y Sol, y otra de Mercurio y Sol en oposición con Jupiter (que interpretamos encaminadas a la obtención de la longitud).

La apreciación de la altura de la Polar a simple vista, sin instrumentos, no hubiera producido mayor error, y esto sabía hacerlo el Almirante, que el 3 de febrero de 1493, de regreso hacia España, decía que *parecióle la estrella del Norte muy alta, como en el cabo de San Vicente.*

En el Diario de Colón es tal vez tan interesante lo que se revela como la que se oculta: ese mismo 3 de febrero dice: *Esta noche yendo a popa con la mar muy llana, a Dios gracias, andaría veintinueve leguas. . . No pudo tomar el altura con el astrolabio ni cuadrante porque la ola no le dio lugar . . .* ¿Qué ola, con mar *muy llana*? No es admisible que en todo el viaje ni él ni ninguno de sus pilotos observará más que aquella latitud. A juicio de quien esto escribe no hubo error en la latitud de Cuba, sino que deliberadamente quiso que esa falsa latitud fuera la única que se recordase, pues figura, dos veces en el mismo Diario y otra más en la carta que escribió a los Reyes Católicos. Y la razón es la vigencia del tratado de Alcácovas (1479), que establecía el límite a las navegaciones castellanas renunciando en favor de Potugal a cualquier exploración al sur de las Canarias a cambio del reconocimiento por el reino vecino del pleno derecho de Castilla sobre estas islas; no se imaginaron entonces descubrimientos hacia Poniente, pero en 1492 tomar posesión de territorios al sur de esta demarcación era una vulneración del tratado. Por ello, debió intentar obviarlo dando una latitud exageradamente septentrional; ya al día siguiente del Descubrimiento se refería a Guanahaní diciendo que *está Lesteoeste con la islade Hierro,* sabiendo seguramente que está bastante más al sur, pero esto no debió parecerle suficiente. Aunque no engañó a nadie, y menos a los portugueses, cuyo rey Juan II envió inmediatamente a su embajador Rui de Sande para que protestara, lo que dió origen a las negociaciones que culminarian con las bulas de Alejandro VI y, finalmente, al tratado de Tordesillas.

La longitud

Si el punto de *escuadría* se obtenía con aceptable precisión con rumbos sensiblemente paralelos a los meridianos al cortarlos con la latitud, no ocurría lo mismo en las navegaciones de componentes Este-Oeste habituales de los españoles hacia las Indias Occidentales y en las transpacíficas, donde el rumbo seguía prácticamente un paralelo y no había más forma de cortarlo que con la imprecisa distancia estimada. Era necesario determinar la longitud para obtener mejor corte; este fue el gran problema sin resolver de la era descubridora. Y las consecuencias de esta incapacidad fueron de gran trascendencia, como lo ilustra el descubrimiento y pérdida de las islas Salomón.

El 7 de febrero de 1568, la escuadra de Alvaro de Mendaña descubrió este archipiélago, situando correctamente el piloto Hernán Gallego el puerto de la Estrella, en la isla de Santa Isabel, en 7º 50' de latitud sur (la verdadera es 7º 55'), pero los pilotos no estaban de acuerdo en cuanto a la distancia navegada; si para Gallego era de 1,800 leguas, para Sarmiento de Gamboa sólo se navegaron 1,500. En realidad corrieron 2,200 leguas, empujados por la por ellos desconocida corriente ecuatorial del sur. Veintisiete años después, el mismo Mendaña emprendió una nueva expedición, esta vez con designios colonizadores, pero en un viaje lleno de incidentes no consiguió dar con ellas, aunque descubrió otras, como las Marquesas y las Santa Cruz. Atacados por mortífera epidemia que acabó con la vida del capitán general, entre otros muchos, decidieron los expedicionarios arrumbar a las Filipinas, creyendo que el archipiélago del bíblico nombre había quedado atrás sin haberlo visto quién sabía por qué. La realidad es que todavía no habían llegado y de haber continuado navegando al Oeste lo hubieran hecho a los pocos días.

Diez años más tarde, Pedro Fernández de Quirós, piloto de Mendaña en su segundo viaje, intentó de nuevo llegar a las Salomón y las Marquesas; no lo logró tampoco, aunque descubrió, entre otras, las que llamó Australia del Espíritu Santo, indebidamente rebautizadas Nuevas Hébridas por Cook más de doscientos años después. Ya no se repitieron nuevos intentos; y las Salomón permanecieron ignoradas durante dos siglos hasta que las reencontró Jean Francois Surville en 1769. De no haber sido así, hubiera podido establecerse una relación entre el virreynato de Perú y las Salomón semejante a la que había entre el de Nueva España y Filipinas, y un punto de partida para nuevos descubrimientos en aquel hemisferio, que se retrasaron durante dos centurias.

Otro efecto importante fue la indeterminación del meridiano de demarcación establecido por el Tratado de Tordesillas, así como su opuesto, lo que dejó sin aclarar si las islas Molucas estaban en la zona correspondiente a Portugal o a España.

Teóricamente, el problema de la longitud era fácil de comprender y fue formulado por Fernando Colón en la Junta de Badajoz; para hallarla sólo había que comparar la hora en el meridiano de referencia con la del lugar en que se encontrara el observador mediante un instrumento fluente, como decía el hijo del Descubridor, que midiera el tiempo transcurrido en trasladarse de uno a otro. Pero tal instrumento no existía, ni lo hubo hasta la construcción del primer cronómetro marino, comprobado con éxito en 1736 por John Harrison. Por un procedimiento puramente astronómico podía calcularse la hora de una efeméride (eclipse, conjunción, ocultación) para un meridiano y observando el mismo fenómeno desde otro en el que se calculase la hora local obtener la diferencia horaria y de ella la de longitud. El propio Colón lo intentó en dos ocasiones valiéndose de sendos eclipses lunares; la primera, en su segundo viaje, el 14 de septiembre de 1494, cometiendo un error de 1h 14m (18º 30'), francamente inadmisible; la segunda, en Jamaica el 29 de febrero de 1504, con un error de 1h 10m. parecido al anterior. Estas son las primeras tentativas de calcular la longitud de que tenemos noticia. El método era inexacto por no ser el eclipse un fenómeno instantá-

neo, las efemérides no estaban calculadas con precisión y la medida de la hora local también carecía de rigor.

El cosmógrafo Andrés de San Martín, de la expedición de Magallanes, utilizó una conjunción Luna-Júpiter y el *Almanach* de Zacuto para calcular la longitud de Río de Janeiro el 17 de diciembre de 1519; el resultado fue tan malo que lo rechazó de inmediato, culpando al *Almanach* del fracaso. Pedro Sarmiento de Gamboa usó otro método por la *llena de la Luna y el nacimiento del Sol*, cuyo resultado se desconoce, y que según García Franco debió consistir en deducir la diferencia de ascensiones rectas de ambos astros del tiempo transcurrido entre el orto del Sol y el ocaso de la Luna. Joáo de Lisboa, en su *Livro da Marinharia* creyó poder calcular la longitud por la variación de la aguja magnética; no obstante, Alonso de Santa Cruz investigó profundamente el sistema, informándose de los pilotos de la Carrera de las Indias en España y México, se trasladó a Portugal en1545 para documentarse en los pilotos portugueses que navegaban a las Indias Orientales y consultó sus derroteros; por Joáo de Castro se enteró de las experiencias de éste entre Lisboa y la India con un instrumento inventado por el sevillano Felipe Guillén, y concluyó, de acuerdo con Castro, en que el procedimiento no era válido: *me quitó del todo el pensamiento de pensar que por la diferencia que hacía el aguja de marear se pudiese saber la longitud.*

Ya hemos referido que en 1609 se realizó una experiencia con el galeón de Manila, que confirmó el dictamen de Santa Cruz; en Inglaterra, empero, la idea continuó teniendo adeptos: en 1673 Henry Bond pretendió haber elaborado unas tablas para calcular la longitud basándose no en la declinación, sino en la inclinación de la aguja, y hasta el propio Edmund Halley creyó lograrlo fundándose en sus cartas isogónicas. Todavía en 1721 William Whiston insistía en el método de las inclinaciones hasta que James Cook realizó experimentos con una balanza de inclinación, con resultados, por supuesto, negativos.

En 1598, Felipe III ofreció una recompensa de seis mil ducados de renta perpetua, dos mil de vitalicia y mil más de ayuda de costas a quien resolviera el problema de la longitud en la mar. Uno de los primeros concursante fue Galileo Galilei, que en 1609 descubrió los cuatro primeros satélites de Júpiter con el anteojo que construyó perfeccionando el del holandés Hans Lippershey. La longitud se calculaba comparando la hora local de la observación del eclipse (apulso) de un satélite por el planeta con la calculada para el primer meridiano; aunque correcto en teoría, el procedimiento era impracticable en la mar debido a que el anteojo necesario, de un metro de distancia focal como mínimo, tenía un campo demasiado pequeño para poder utilizarse con los movimientos del buque. Se idearon toda clase de artilugios, como sillas estabilizadas par el observador, sin ningún resultado. Además, todavía no había una tabulación suficientemente precisa de los movimientos de los satélites jovianos. En tierra, se utilizó con éxito ya en el siglo XVIII: el equipo de la expedición de Malaspina lo hizo alternando con el uso de cronómetros - cuya exactitud al cabo de largo tiempo sin poder comprobarse el estado absoluto era todavía problemática- , y con el método de las distancias lunares y, en 1792, Alcalá Galiano calculó la longitud

de Nutka por este procedimiento. A principios de este siglo todavía figuraban estas efemérides en nuestro Almanaque Náutico.

En la oferta de premios siguieron a España, Holanda (1634), Inglaterra (1714) y Francia (1716).



Esfera armilar. (Museo Naval).

La Luna fue uno de los astros que llamó la atención de los estudiosos de este problema a causa de su rápido movimiento aparente. Un Tratado de Navegación y de la longitud o altura Leste Oeste, del siglo XVI atribuido a Pedro Ruiz de Villegas, subraya que *la luna anda al rebes de como andan los cielos de Ocidente a Oriente 13 grados*, y describe un método de calcular la longitud midiendo su latitud eclíptica y comparándola con la que se calculase para Sevilla. Métodos semejantes se hallan en otros autores, pero ninguno era de uso práctico debido a que ni los complejos movimientos de la Luna estaban tabulados con el necesario rigor ni los instrumentos disponibles eran lo suficientemente precisos. Uno de ellos, cuya menor dependencia de la medida del tiempo podía hacer esperar mayor utilidad, fue el de las distancias lunares, ideado en 1514 por el alemán Johannes Werner; citado por Santa Cruz, éste describe la ballestilla inventada por Werner para la medida de ángulos que no fuesen verticales, pues ni astrolabio ni cuadrante servían a este propósito. Santa Cruz observa, además, la necesidad de tener en cuenta la paralaje (Gemma Frisius señalaba también, en 1534, la necesidad de esta corrección y la de refracción en

observaciones lunares). Pero ni el instrumento tenía la precisión necesaria ni los elementos de cálculo entonces disponibles bastaban para alcanzar la mínima exactitud exigible: téngase en cuenta que un error, tanto de medición como en las efemérides, se multiplicaba por un factor comprendido entre 30 y 45 al hallar la longitud. Sólo bien entrado el siglo XVIII se logró utilizar este método con alguna garantía: la invención de los instrumentos de reflexión (el octante, ya ideado por Newton en 1699 y reinventado por Hadley en 1731, del que se derivó el sextante), el desarrollo de la trigonometría esférica y del cálculo logarítmico, y la tabulación más exacta de los movimientos de la Luna, fueron los pasos indispensables.

El método de las distancias lunares se basaba en calcular la distancia angular entre la Luna y otro astro y comparar la hora local de ésta con la de la misma en el meridiano de referencia. El observador no podía medir directamente la distancia lunar verdadera, pues la lectura del sextante se la daba afectada de refracción y paralelaje; con esta distancia lunar aparente y las distancias cenitales aparentes de la Luna y el astro, deducidas de sus alturas observadas, tenía un primer triángulo esférico, en el que calculaba el ángulo en el cénit. Corregía entonces las alturas observadas para tener otro triángulo del que conocía el ángulo en el cénit antes hallado, y las distancias cenitales verdaderas, del que deducía su tercer lado, que era la distancia lunar verdadera; buscando en el almanaque, hallaba su hora en el primer meridiano, y por diferencia con la local de la observación, la longitud del lugar. En la práctica era algo más complicado, porque como no podían ser simultáneas las observaciones de las alturas y distancia lunar, había que obtener series de alturas antes y después de la distancia y promediarlas para el momento de ésta. Como se ve, el método era bastante laborioso: además de varias alturas y distancias que había que observar, era preciso resolver dos triángulos esféricos, lo que en conjunto y a golpe de logaritmos podía llevar tres o cuatro horas, aunque, según Cook, tal vez por jactarse de buen observador y calculador, todo podía hacerse en media hora.

Se elaboraron diversos procedimientos para simplificar el cálculo tabulando las fórmulas de resolución de los triángulos, entre las que debemos citar las tablas del capitán e navío don José Mendoza Ríos (1763-1816), impresas en 1800, que alcanzaron gran difusión en España y fuera de ella. Pero, con todo, el sistema adolecía de poca precisión y si se usó a pesar de todo fue porque no había otro hasta la difusión del cronómetro, y aún entonces, hasta que se pudo disponer de estados absolutos con facilidad y frecuencia. Según el conde de Cañete del Pinar, autoridad en la materia, no eran raros los errores de un grado y hasta dos en la longitud; su contemporáneo, don José Ricart y Giralt se enorgullecía de que tras muchísima práctica llegó a obtenerla *con errores cuasi siempre menores de 30 minutos de arco, que en nuestra latitud representa un error de 22 1/2 millas* (esto, en 1904). Pero en la época de la Marina científica fue imprescindible y especialmente útil en tierra; la expedición de Alejandro Malaspina realizó una ingente labor en la que, por ejemplo, se realizaron 292 series de distancias dunares en Montevideo y 396 en Valparaíso, además de otras

observaciones de apulsos de los satélites de Júpiter, pasos de Mercurio y Venus por el Sol y ocultaciones de estrellas por la Luna, sin olvidar las realizadas con auxilio de cronómetros.

Para dar una idea del desarrollo de la navegación astronómica en el último tercio del siglo XVIII y primero del XIX, comparemos las situaciones obtenidas por uno de nuestros últimos descubridores, Francisco Mourelle de la Rúa, con las de las mismas islas calculadas cuarenta y tres años después por el frencés Louis Isidore Duperrey.

	S. Verdadera	Mourelle (1781)	Error	Duperrey (1824)	Error
Niutao (Gran Cocal)	Lat. S. 6° 03' Long. E. 177° 12'	6° 02' 174° 50'	1' 2° 22'	6° 05' 33" 176° 13'	2' 33" 59'
Nanumea (S. Agustín)	Lat. S. 5° 40' Long. E. 176° 10'	5° 35' 173° 48'	5' 2° 22'	5° 39' 08" 176° 05' 58"	52" 4' 02"

Se ve, pues, que el progreso en el cálculo de la longitud fue apreciable. Es curioso que muchos navegantes no se dieran cuenta de la futilidad de precisar segundos de arco, teniendo en cuenta que sólo por la limitación de la agudeza visual del observador, con el anteojo de mayor aumento del sextante no se puede llegar a más de 14", según el conde de Cañete del Pinar. Sin embargo, era frecuente esta presunción: Cook la llevó hasta el medio segundo en alguna ocasión.

El cálculo de la longitud representó para la Ciencia durante más de tres siglos un desafío parecido al que supone hoy la fusión nuclear; en teoría se sabía cómo obtenerla pero faltaba un método práctico al alcance de cualquier navegante en la mar, como hoy un sistema sencillo de lograr la fusión fría. Pero la Ciencia se benefició de este esfuerzo con el desarrollo de la Astronomía, las Matematicas y la técnica, especialmente la óptica y la relojería (recordemos que la acreditada industria relojera suiza nació con los fabricantes franceses de cronómetros marinos que se establecieron en aquel país). El siglo XVII, con nuestra decadencia en casi todos los campos, supuso también en éste la toma del testigo por Inglaterra y el nacimiento del mito de nuestra incapacidad científica y técnica (¡aquél funesto "que inventen ellos"!), pero no siempre fue así, como hemos visto.

Finalmente, el hallazgo del procedimiento más práctico, preciso y elegante, que marca la culminación de la navegación astronómica - la recta de altura-, vino de

la mano del norteamericano Thomas H. Sumner, en 1837, completándose bastantes años después con la radiodifusión de señales horarias para el arreglo de los cronómetros. El sistema del punto aproximado y las diversas tablas y métodos gráficos para la más rápida resolución del problema de la situación en la mar y, por último, las calculadoras programadas, último y efímero destello de este faro de navegantes, marcan la cúspide de la navegación guiándose por los astros. Pero ya no había nada por descubrir en la Tierra.



Ilustración superior: Ayer. Piloto "pesando" (tomando la altura del Sol con un astrolabio. (Del "arte de navegar" de Pedro Medina).

Foto inferior: Hoy. Soldado leyendo su situación. En el conflicto del Golfo se utilizaron receptores como éste -un GPS 100- con el que pueden obtenerse situaciones con errores de 15 metros en superficie, 25 metros en altitud y 0.5 nudos en velocidad. (De "International Defense Review").



Conclusión y vista al presente

Si Martín Cortés pudo decir en bella y acertada frase que *los fenices... fueron los primeros que entendieron que era necesario (para caminar por la mar) poner los ojos en el cielo* hoy podemos asegurar que esto no es necesario desde que la ciencia y la técnica han puesto allí los instrumentos que necesita el navegante, que ya no tiene que alzar la vista si no es para recrearse en el grandioso espectáculo de un firmamento estrellado. Los sistemas de navegación por satélite, superados los primeros Transit, alcanzan la madurez con el GPS, confirmada recientemente en el golfo Pérsico, donde se utilizó por la coalición aliada profusamente en tierra, mar y aire. Su coexistencia con el ex soviético GLONASS, y la posibilidad de interoperabilidad de receptores que utilicen ambas redes de satélites, abretodavía más sus horizontes, sobre todo con el actual clima de cooperación entre la CEI y los Estados Unidos. Asociado a un sistema inercial, como está previsto, por ejemplo, para las fragatas del programa ANZAC entre Australia y Nueva Zelanda, proporciona tal exactitud y continuidad en la situación que hace innecesario cualquier otro procedimiento. Son ya muchas sus aplicaciones militares y civiles; entre las primeras, la guía de precisión de misiles y, naturalmente, la navegación aérea, marítima e incluso terrestre; entre las civiles se usa en actividades tales como las cartográficas, el tráfico por autopistas y ferrocarriles o la lucha contra incendios forestales. No ha de tardarse mucho en ver a la venta receptores para navegación por satélite al alcance de excursionistas para añadirlos a su equipo junto a la cantimplora y la navaja suiza.

A comienzos de este siglo, que ya acomete su recta final, escribía el capitán Lecky (*Wrinkles in practical navigation*) que el cálculo de las distancias lunares estaba tan muerto como Julio César. Consecuentemente, tanto en el Almanaque francés (*Connaissance du Temps*) como en nuestro Almanaque Náutico se dejaron de publicar en 1905, no sin que se alzaran en contra voces muy autorizadas que auguraron que muchos navegantes tendrían que recurrir a otros Almanaques extranjeros: no fue así y no se las echó de menos porque en realidad ya no las empleaba nadie. Algo parecido ocurre hoy con la navegación astronómica clásica que aprendimos: podemos enterrar definitivamente a los fenicios y sus dignos sucesores en la seguridad de que no habrá que resucitarlos. Reservemos, pues, algunas vitrinas en nuestros museos para que sextantes y cronómetros pasen a ocupar su lugar junto a los astrolabios y cuadrantes de épocas gloriosas, y busquemos una aplicación más útil al tiempo que todavía se dedica en la Escuela Naval Militar y en las de Náutica a la enseñanza de unos procedimientos de navegación que los alumnos de hoy no llegarán a emplear nunca. No ignoramos que también ahora se opondrán múltiples argumentos en contra, pero responder a ellos merecería la extensión de otro trabajo.

BIBLIOGRAFIA

ANONIMO, atribuido a Pedro Ruiz Villegas (siglo XVI): *Tratado de Navegación y de la Longitud de Leste a Oeste.* "Revista General de Marina", abril 1893.

ALBERT-MONTEMONT (Revus et traduits par...): *Voyages autour du Monde et Océanie par Bougainville,*

Cook, Lapérouse, Marion, Baudin, Freycinet, Duperrey, Dumont d'Urville, J. Bry Ainé, Editeur, París, 1853.
ALCALA GALIANO, Dionisio: *Relación del viaje hecho por las goletas "Sutil" y "Mexicana" en el año 1792 para reconocer el Estrecho de Juan de Fuca*, Editorial Naval-Museo Naval, Madrid 1991.
ASHLEY E. RAYMOND: *The Search of Longitude.* "The American Neptune", vol. 51, núm. 4, otoño 1991.
CAÑETE DEL PINAR, conde de: De *cómo se han de observar las distancias lunares.* "Revista General de Marina", mayo y junio 1904.
CASAS, fray Bartolomé de Las: *Diario de Colón.* Edición y comentario preliminar, por Carlos Sanz, Biblioteca Americana Vetustissima, Madrid, 1962.
CORTES ALBACAR, Martín: *Breve Compendio de la Sphera y de la Arte de Navegar (1551).* Editorial Naval-Museo Naval. Madrid 1990.
ESCALANTE DE MENDOZA, Juan: *Itinerario de Navegación de los Mares y Tierras Occidentales (1575),* Museo Naval. Madrid 1990.
ESTACIO DOS REIS, Antonio: *El Arte de Navegar.* "Revista General de Marina". agosto-septiembre 1989.
FERNANDEZ DE QUIROS, Pedro: *Historia del Descubrimiento de las Regiones Australes.* Publicado por Justo Zaragoza, Imprenta Manuel G. Hernández. Madrid, 1876.
GARCIA, Juan: *Bosquejo histórico de las longitudes en la mar.* "Revista General de Marina", abril 1944.
GARCIA FRANCO, Salvador: *Historia del Arte y Ciencia de Navegar.* Instituto Histórico de la Marina. Madrid, 1947.
GONZALEZ CABRERA BUENO, José: *Navegación Especulativa y Práctica. . . .* Convento de Nuestra Señora de los Angeles, Manila, 1734
GRENFELI PRICE, A.: *Los viajes del capitán Cook.* Ediciones Serbal. Barcelona, 1985.
JAUDENES AGACINO, José Ramón: *Satélites de Navegación: revolución en marcha.* "Revista General de Marina". marzo 1991.
KNOTH, Arthur: *GPS Technology and Third World Missiles.* "International Defense Review", mayo 1992.
LLABRES BERNAL, Juan: *Aportación de los españoles al conocimiento de la Ciencia Náutica, 1801-1950,* Instituto Histórico de la Marina. Palma de Mallorca, 1959.
MANERA BASSA, Enrique: *La ciencia náutica en el siglo XV y sus antecedentes.* "Revista General de Marina", agosto-septiembre 1989.
MARTINEZ HIDALGO, José María: *La declinación magnética y el problema de las longitudes.* Revista general de Marina, marzo 1945.
MEDINA, Pedro de : *Arte de Navegar, en que se contienen todas las Reglas declaraciones, Secretos y Avisos, que a la buena navegación son necesarios y se deben saber.* Impreso en la Casa de Francisco Fernández de Córdova, Valladolid, 1545.
MORALES BELDA, Francisco: *Esquema cronológico-bibliográfico de aportaciones españolas al desarrollo de la Navegación Astronómica, siglos XI al XX.* Instituto de Historia y Cultura Naval. Madrid, 1981.
ORTE LLEDO, Alberto: *1792-1992. Dos siglos de "Almanaque Náutico".* Revista Generala de Marina, noviembre 1991: *El posicionamiento astronómico de las costas de América en la expedición de Malaspina,* Real Academia Hispanoamericana. Comisión Nacional del Quinto Centenario. Madrid, 1992.
PEREZ DE OLIVA, Fernán: *Cosmografía Nueva.* Ediciones Universidad de Salamanca. Salamanca, 1985.
RICART Y GIRALT, José: *Cálculo de la Longitud Geográfica por medio de las distancias lunares: su psado, su presente y su porvenir.* Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona. V. núm. 1, noviembre 1904.
SANTA CRUZ, Alonso de : *Libro de las Longitudes y manera que hasta agora se ha tenido del arte de navegar, con sus demostraciones y ejemplos.* Publicado por Antonio Blazquez y Delgado Aguilera, Sevilla, 1921.
VARIOS AUTORES (Landín Carrasco, Amancio; Barreiro-Meiro, Roberto; Cominges Bárcena, Alfredo; Génova Sotil, Juan; Guillén Salvetti, Fernando; Molíns Saenz Díez, Gonzalo; Rodriguez Urzáiz, José M.; Romero de Pazos, Mario; Sánchez Masiá, Luis; Vila Miranda, Carlos; Viscasillas Rodriguez-Toubes, Juan A.): *Descubrimientos españoles en el Mar del Sur.* Banco Español de Crédito. Madrid, 1992.
ZAMORANO, Rodrigo: *Compendio de la Arte de Navegar,* Alonso de Barrera, Sevilla, 1581.