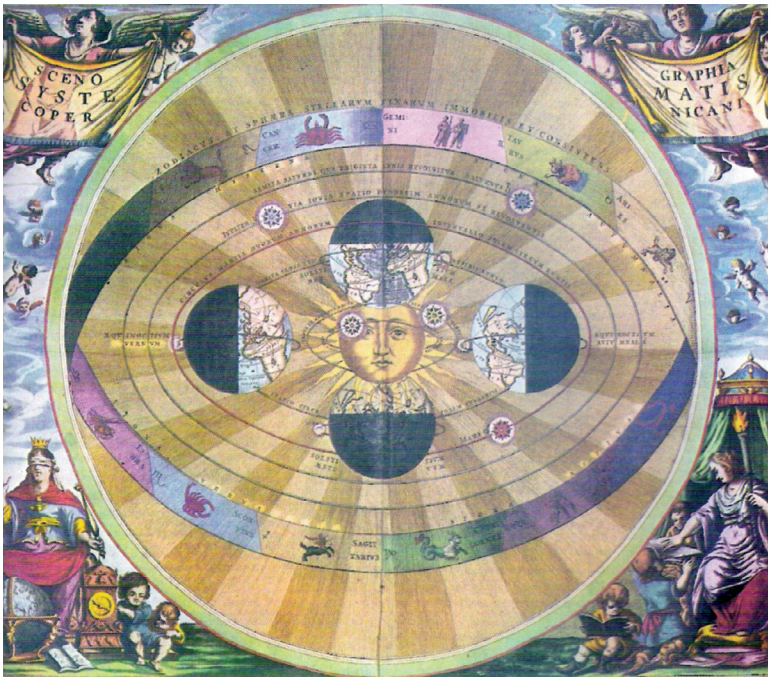
JORGE JUAN Y EL ARTE DE NAVEGAR

Román Bono Guardiola

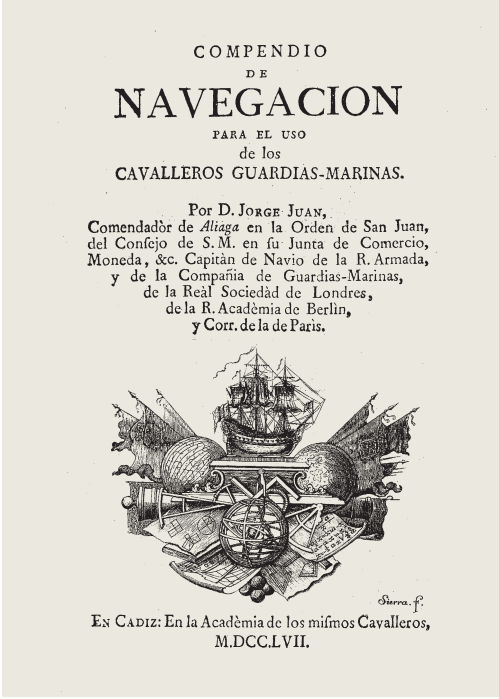
La figura de Jorge Juan y Santacilia aparece en muchos campos del saber durante buena parte del Siglo XVIII. Marino, matemático, físico, astrónomo, su nombre aparece ligado a casi cualquier actividad científica en la España de la época. Vivió 60 años, lo que hoy no parece una gran longevidad aunque, seguramente, superaba la esperanza de vida en aquellos tiempos. Sin embargo, su presencia es constante durante casi 40 años, toda vez que a los veintidós ya participaba en una aventura científica tan importante como la medición de un grado de meridiano en el actual Ecuador.

Como buen hombre de la Ilustración, tenía una enorme ansia por aprender y por transmitir los conocimientos adquiridos. Como fruto de ello, nos han quedado sus escritos sobre temas muy variados, con el mérito añadido de que no eran años fáciles para quien quisiera estar en vanguardia de las ciencias. Véase, como ejemplo, el prólogo de su famoso libro *Observaciones astronómicas y phísicas hechas en los Reynos del Perù*, de 1748:

> *Entre las experiencias y demostraciones Geométricas que se exponen en esta Obra, hay varias que respiran a favor del Systema conocido generalmente por el nombre de* Copernicano, *y que por suponerse opuesto a las Sagradas Letras, fue declarado en Roma, por la Congregación de Cardenales Inquisidores,* sospechoso de heregía.…*Ver evidentes razones que lo sostengan, y al mismo tiempo tener que repudiarlo ciegamente, no hay prudente Philosopho que lo apruebe; y prestar su consentimiento sin la evidencia de aquellas, no es menos temerario. Por este motivo ha parecido conveniente añadir a esta segunda edición los progresos con que la Astronomía, Mechânica y Phísica se han perfeccionado desde aquellos tiempos, y los fundamentos con que favorecen el Systema: pues de esta suerte podrá el Lector juzgar del mérito que se merece.*



Posiciones del Sol y de la Tierra según la teoría copernicana en *Harmonia Macrocosmica* de A. Cellari (1661).



COMPENDIO
DE
NAVEGACION
PARA EL USO
de los
CAVALLEROS GUARDIAS-MARINAS.

Por D. JORGE JUAN,
Comendadòr de *Aliaga* en la Orden de San Juan,
del Consejo de S. M. en su Junta de Comercio,
Moneda, &c. Capitàn de Navio de la R. Armada,
y de la Compañia de Guardias-Marinas,
de la Reàl Sociedàd de Londres,
de la R. Acadèmia de Berlin,
y Corr. de la de Paris.

Sierra. f.

EN CADIZ: En la Acadèmia de los mismos Cavalleros,
M.DCC.LVII.

Portada del *Compendio de navegación...* de Jorge Juan (1757).

Parece que el autor pensaba, sin duda acertadamente, que con el Santo Oficio no había que gastar bromas. El recuerdo de Galileo todavía estaba presente.

Jorge Juan, que se había formado en la *Academia de los Cavalleros Guardias-Marinas* de Cádiz, fue nombrado años más tarde Director de la misma por el marqués de la Ensenada. Fruto de sus trabajos en la Academia son sus dos grandes obras *Compendio de Navegacion* y *Examen Maritimo*. La primera, dedicada al arte de navegar y la segunda, al proyecto, construcción y manejo de los barcos. Probablemente ambos libros constituyan el máximo exponente del saber náutico en la Europa de la época. Como lo que nos ocupa es la navegación, examinaremos brevemente el primero de ellos.

Compendio de Navegacion hace honor a su título. Puede decirse que en el libro se estudian con detalle los procedimientos que permitían a los barcos españoles navegar por los siete mares con todas las garantías que en aquellos tiempos podían ofrecerse (que no eran muchas). Comienza Jorge Juan por la propia idea de navegación que «se define ordinariamente como el Arte que enseña a dirigir y llevar las Naves de unos parages a otros, sobre la superficie de las aguas». Para mayor precisión, divide el arte de navegar en dos aspectos fundamentales: «enseñar el camino que sigue y debe seguir la Nave» y «el modo de darla los movimientos necesarios para que le siga; lo que pertenece a la Maniobra». Al primero, que es el objeto del libro, habría que llamarlo «Pilotage, por ser ejercicio de los facultativos que se llaman Pilotos».

El arte era entonces el mismo que ahora. El comandante, capitán, patrón ó navegante despliega una carta (el término mapa estaba y está proscrito en la mar) y dice: «Estamos en el punto A, y queremos llegar al punto B». A continuación traza una línea que une A con B, y no hay más que seguir la línea. Muy sencillo, ¿verdad?. El problema comienza por el hecho de que la situación actual, el punto A, no suele ser tan evidente. Jorge Juan lo expone con claridad meridiana: «cuando se navega en las inmediaciones de las Costas ó Mares sondables, viene el Piloto a distinguir unos parages de otros y en conocimiento de aquel donde se halla». Es lo que el autor denomina navegación *Práctica*, que es de una sencillez engañosa, pues la identificación de puntos relevantes de la costa, que nos den una situación correcta, no es tan fácil como parece.

Mucho más complicada es la navegación *Theórica*, que es la que «enseña el modo de saber el camino que sigue y debe seguir la Nave por dilatados Mares, donde por mucho tiempo no se ve mas que Cielo y agua». Entonces, como ahora, «no hay otro medio de saber la situación que tiene un lugar respecto a los demás que el que establece la Astronomía, por medio de su latitud y longitud. Si tubiéramos modo de observar estas dos dimensiones, supiéramos en todos casos donde se halla la Nave». La determinación de la latitud no era, ya entonces, un problema. De noche, la altura de la estrella Polar sobre el horizonte, con ligeras correcciones, es la latitud del punto (en el hemisferio Sur, la Cruz del Sur es una buena referencia). De día, siempre que no esté

nublado, la altura del Sol sobre el horizonte a mediodía nos permite conocer con gran exactitud la latitud. La cuestión era, como dice Jorge Juan, que «no han podido aún las Ciencias encontrar modo cierto de observar la Longitud en el Mar, aunque lo hacen perfectamente en tierra».

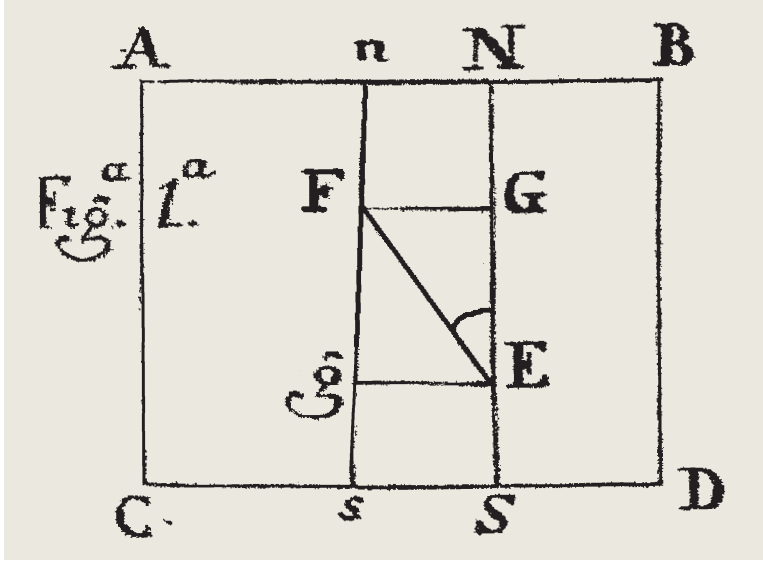
Para empezar, la longitud se mide desde un meridiano de referencia, hacia el Este o el Oeste. El acuerdo internacional que fijó Greenwich como meridiano cero es de 1885, más de un siglo después de Jorge Juan. En la época se medían las longitudes desde varios meridianos como Madrid, Cádiz o el propio «pico de Tenerife».

En tierra firme, y con tiempo por delante, la longitud geográfica de las ciudades importantes se conocía con bastante aproximación. El propio Jorge Juan aprovechó su expedición de medida del meridiano para calcular con precisión la longitud de Cartagena de Indias, Quito y otras ciudades importantes. Para ello había programado una serie de sucesos astronómicos que él observaría en América mientras que otros lo harían en España. Se trataba, por ejemplo, de ocultaciones de satélites de Júpiter o Saturno, cuyo momento se puede apreciar con gran precisión. La comparación posterior de las horas locales del mismo fenómeno desde dos sitios distintos permitiría conocer su diferencia de longitud. El método, como se puede apreciar, es ciertamente irrealizable en la mar. «Ha sido preciso con esto, ocurrir a inquirirla por otros medios, que con todo suelen asimismo inutilizarlos los muchos accidentes que el Mar ofrece». El medio que el autor explica es el que hoy llamamos «estima». Usaremos la figura del texto de Jorge Juan (Fig. 1).

El punto E es aquel donde está una nave y quiere ir a otro punto F: «toda la dificultad está en saber como se conoce en medio del Mar la línea NS, el ángulo GEF, y la distancia EF. Por la línea NS, toman los marineros el Meridiano; su dirección, así como el ángulo GEF, que llaman del *Rumbo*, se conocen por la *Aguja de Marear*, instrumento que la Phísica ha producido, tan admirado como simple». La distancia EF es, según el autor, aún mucho más fácil de saber: «Si se echa un palito al Mar desde la Proa, se puede conocer con facilidad la velocidad con que se va quedando hacia la Popa: y si a este palito se ata un cordel dividido en varas u otras partes, a cuyo instrumento llaman los marineros *Corredera*, se puede notar quantas de estas partes salen fuera de la Nave en un minuto, y por regla de tres se puede inferir quantas saldrán en una hora». (Normalmente, las divisiones en la corredera se marcaban con nudos en el cordel. Se llegó más tarde al acuerdo de hacer los nudos a tal distancia que los que salían en un minuto indicasen las millas navegadas en una hora. De ahí viene el uso de *nudo* como unidad de velocidad equivalente a una milla por hora.). El procedimiento habría que repetirlo cada vez que se cambia el rumbo y así conoceríamos la posición del barco en todo momento.

Pero Jorge Juan nos enfrenta con la dura realidad: «A estos pocos documentos se redujera el Pilotage, si por un lado la theórica y por otro la práctica no los quebrantaran». Claro, el primer problema es que hemos supuesto una superficie plana, «cuando la del Mar no es sino convexa». En distancias pequeñas, el error es corto, «pero en mares

Figura 1



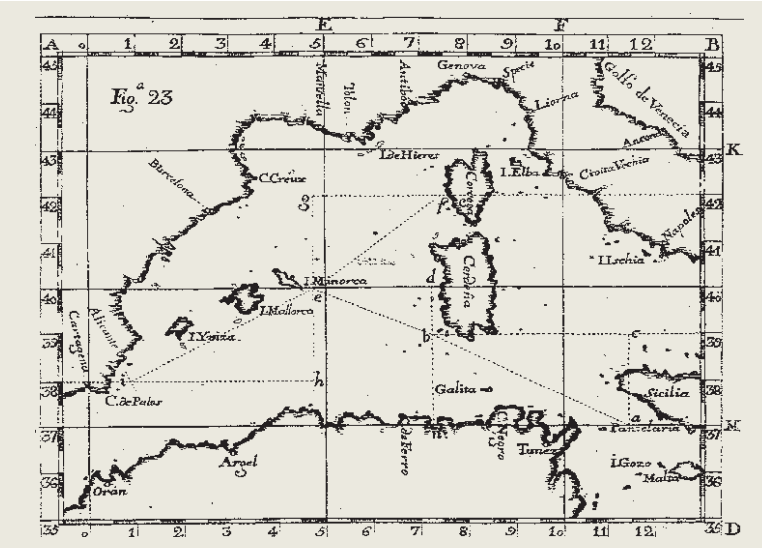
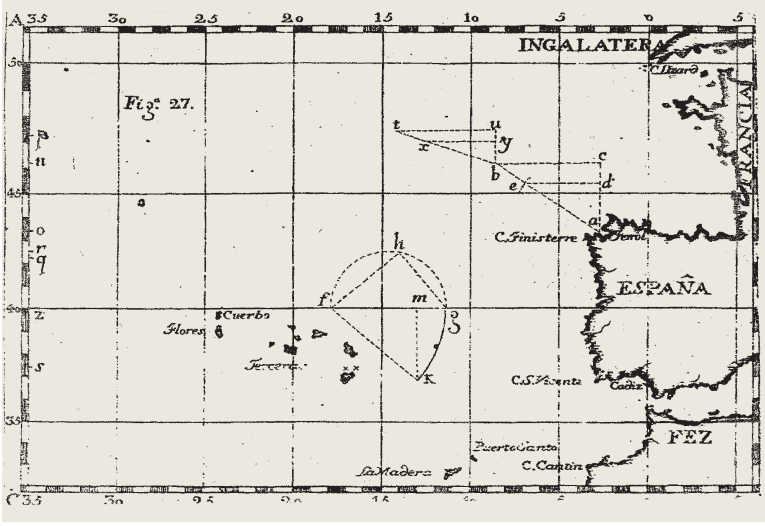


Figura 2: Carta plana del Mediterráneo occidental, grabado del *Compendio de Navegación* de Jorge Juan.

dilatados sube a mucho». A las cartas así construidas, las denomina el autor cartas planas y las considera aceptables en mares pequeños, como el Mediterráneo. En el libro figura una carta plana del Mediterráneo occidental (Fig. 2), donde se puede apreciar que la latitud está dividida en partes iguales. Los errores cometidos en travesías largas usando esta carta debían de ser considerables, incluso dentro de los límites de nuestro Mare Nostrum.

Así, continúa el autor, «se hubieran visto precisados los Marineros a no tener sino Cartas muy pequeñas, ó a tenerlas erróneas si no se hubiera discurrido mejor medio, como lo hizo el flamenco Gerardo Mercator, cerca del año 1550». Las cartas construidas con tal sistema las denomina Jorge Juan cartas esféricas, denominación que sin duda fue, siglos después, del agrado de Arturo Pérez Reverte, quien nos deleitó con una novela del mismo nombre.

Figura 3: Carta esférica del Atlántico al Oeste de España, grabado del *Compendio de Navegación* de Jorge Juan.



Se puede apreciar que en esta carta (Fig. 3), las latitudes ya no están divididas en partes iguales, sino que varían con la latitud. La proyección de Mercator es la que se usa en muchas cartas actuales. Tiene la ventaja de que las distancias se miden directamente sobre la escala de las latitudes con muy pequeño error. Si desde una posición conocida trazamos una línea de rumbo, según la aguja del navío, y sobre ella llevamos la distancia medida con la corredera, nos dará una nueva posición estimada, cuya latitud y longitud medidas en la carta son correctas. El empleo actualmente de millas náuticas como unidad de medida no es caprichoso, ya que una milla es un minuto de grado terrestre, muy fácil de medir en la carta.

Resuelto el problema de la adecuada representación sobre el papel, Jorge Juan estudió con todo detalle los errores que pueden contener los propios datos, es decir el rumbo y la distancia. El rumbo, se mide con la aguja de marear, instrumento basado en «las maravillosas propiedades de la piedra Imán». Toda varilla de hierro tocada con dicha piedra «queda con la misma virtud, y se dirige, con muy corta diferencia, según el Meridiano (Norte-Sur), y aun vuelve a la misma situación, por más que se mueva». Sobre la explicación de tal fenómeno, nos dice Jorge Juan: «No será necesario detenerse aquí en las causas a que atribuyen los Phísicos estas propiedades; porque, a más que quedaríamos con muchas dudas, saldríamos del assunto de la obra». Tenía toda la razón el gran marino; Gauss y Faraday no habían nacido todavía y las explicaciones de la época debían de ser un tanto peregrinas. Lo que sí interesaba mucho es que la aguja no señala exactamente el Norte, «lo que llaman los Marineros Variación de la Aguja, la cual no es constante, sino que varía en todas

partes». Esta variación, que hoy se suele llamar declinación magnética, la da actualmente cualquier carta náutica para cada zona. En aquellos tiempos se calculaba siempre que se podía; en general solía hacerse a la salida o puesta del Sol. La amplitud, o ángulo que forma el Sol con el Norte en el horizonte, ya era conocida para cada día del año. Comparándola con una enfilación tomada al Sol con la aguja se obtenía la variación y con ella se corregía el rumbo. La ventaja que tenía el método es que se corregía al mismo tiempo, y sin saberlo, el desvío ocasionado por las masas magnéticas del navío, que no aparecen consideradas en la obra, ya que el concepto es posterior. En el libro se incluye también una carta geográfica de las variaciones «para gobierno de los que no pudieren observar la Variación, por impedirlo las nubes ú otro accidente» (Fig. 4).

La carta recoge los valores observados en 1744, muchos de los cuales debieron ser aportados por el propio Jorge Juan, con motivo de su viaje de vuelta de la medición del meridiano.

Además de la corrección magnética, el rumbo debe de corregirse por el llamado «abatimiento», ya que «el Mar se altera, y arroja la Nave hacia la parte que llaman los Marineros de Sotavento». Por otra parte está la corriente: «los Mares, ó por mejor decir sus aguas, corren como los ríos, y las más de las veces sin percibirlo los Marineros». Ambos efectos, abatimiento y corriente se estudian en la obra con todo detalle aunque, como puede fácilmente deducirse, su efecto sobre el rumbo y la distancia navegada eran tan difíciles de estimar como lo son hoy día. Por muy cuidadosamente que se llevaran rumbos y distancias en un adecuado diario de navegación,«que es un quaderno ó libro en que se lleva la cuenta y razón del camino que hace la Nave», los errores eran inevitables y acumulados podían ser peligrosos: «Toca a los Marítimos precaverse con tiempo de una llegada a tierra antes de lo que se discurre». Era un buen consejo, ya que encontrarse de improviso con una costa no esperada puede tener consecuencias catastróficas.

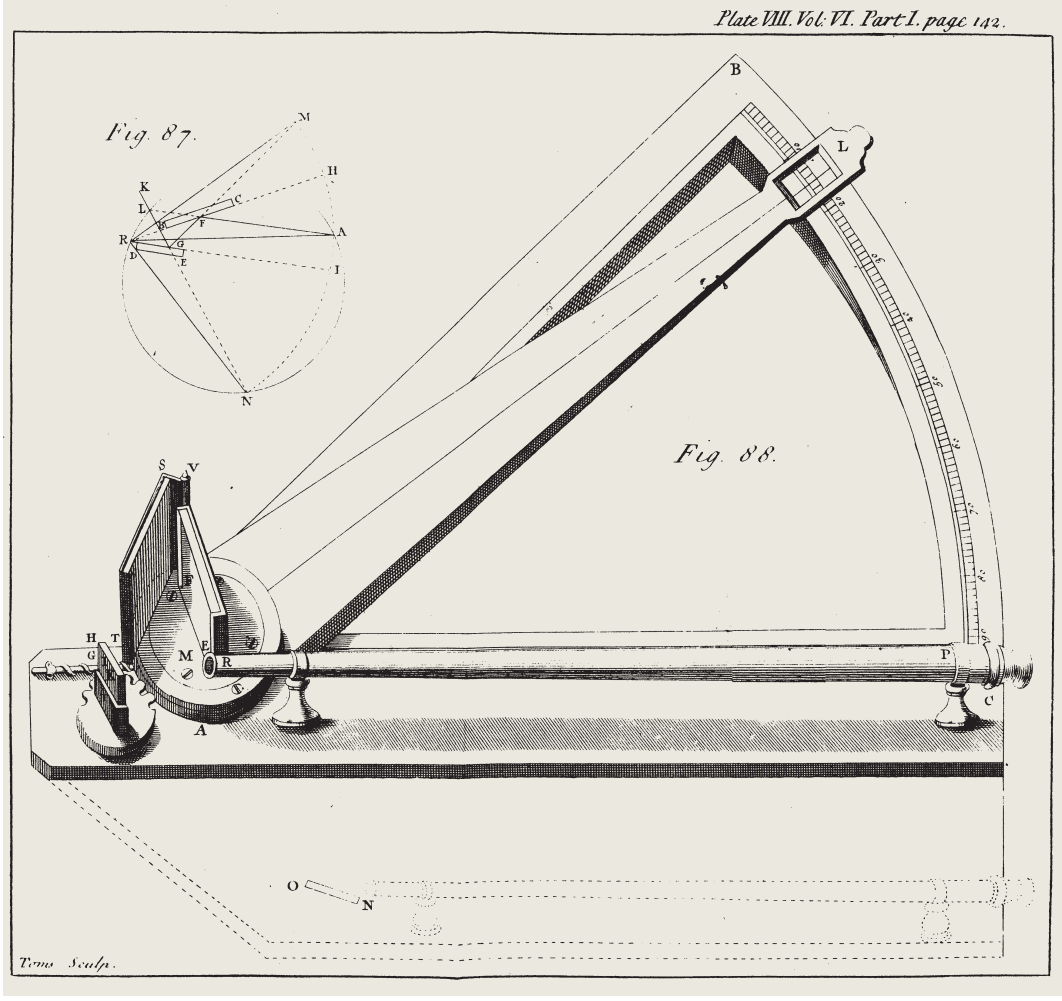
Figura 4: Carta geográfica de las variaciones de la aguja en 1744, grabado del *Compendio de Navegación* de Jorge Juan.

La única mejora de la situación estimada que podía hacerse en la época era, como hemos dicho, calcular la verdadera latitud por una observación de la altura del Sol a mediodía. Como es bien conocido, en ese momento:

$$L = 90 + d - a$$

Donde L es la latitud, d la declinación del Sol y a su altura sobre el horizonte.

Para observar la altura del Sol, existía un «octante de reflexión que inventó modernamente el año 1731 Juan Hadley, que lleva ventajas a cuantos han salido a la luz». El instrumento era muy parecido en construcción y manejo a los actuales sextantes, y seguramente tenía una precisión más que suficiente. El momento del día para realizar



Primer instrumento de John Hadley. Grabado de la obra *Transactions of the Royal Society*, Londres (1733) (Biblioteca Nacional, Madrid).

la observación era otro problema. Como no había reloj a bordo, se hacían varias mediciones y se tomaba la altura máxima (que increíblemente se aprecia con gran exactitud). La declinación del Sol, o sea su distancia en grados al Ecuador, estaba ya perfectamente tabulada. Como se ha explicado más arriba, el cálculo de la latitud es inmediato. Llevando esta latitud a la carta se obtenía una posición mejorada. Naturalmente, si se navegaba de Este a Oeste, o viceversa, no variando la latitud, no se podía corregir la situación por este procedimiento.

Estos eran los conceptos básicos de la navegación o *pilotage* en aquellos tiempos. Jorge Juan los estudia con gran rigor matemático y *phísico*, con demostraciones claras de sus aseveraciones y, lo que es casi tan importante, sabiendo muy bien lo que ignoraba. La lectura de ésta o cualquier otra obra suya constituyen un placer para cualquier aficionado a estos temas. El célebre marino alicantino utiliza un lenguaje claro, donde los términos del oficio suelen ir precedidos de la expresión *«lo que los Marineros llaman…»*. Creo que lo hacía así para mayor claridad, aunque él fuera evidentemente un gran marinero. Su actitud contrasta con la que exhiben hoy día muchos profesionales – y no sólo de la mar – que emplean en sus escritos términos que resultan absolutamente incomprensibles para los no iniciados.

En cuanto a los procedimientos de navegación, aparte de manejar instrumentos de mayor precisión, solamente han tenido desde entonces dos saltos importantes. El primero ocurrió poco después de escrito el *Compendio*, cuando John Harrison consiguió el premio establecido para quien consiguiera resolver el problema de la longitud.

En realidad, lo que Harrison hizo fue fabricar un «cronómetro marino», es decir un reloj que funcionara a bordo con precisión suficiente. Este reloj permitía «conservar» la hora en el meridiano de salida. Una observación a mediodía (las 12) en otro lugar de la tierra, daba la diferencia horaria, que es la diferencia de longitud, a razón de 15 grados por cada hora.

El segundo gran avance, ya bien avanzado el siglo XX, fue la utilización de ayudas radio-eléctricas a la navegación, como Consol, Loran o Decca. Todos ellos han sido «jubilados» desde que, hace unos 15 años se introdujo de forma masiva el GPS (Global Positioning System), que da directamente la longitud y latitud, tiene cobertura mundial, bajo coste y precisión nunca vista. En cualquier caso, son muchos los marineros que conservan a bordo los medios para navegar «a la antigua» (cronómetro, sextante, almanaque, aguja magnética y corredera). Prudente medida, pues cualquier aparato electrónico puede averiarse y la mar puede ser muy grande si no sabemos donde estamos.

El famoso H-4, el cronómetro marino de John Harrison, con el que resolvió el problema de la longitud en el mar (Museo Nacional Marítimo de Londres).