
La medida del tiempo y la expansión europea del XVII

Pedro J. Hernández 1996 pjhdez@navegalia.com

No reproducir sin permiso

"Barcos especialmente preparados navegaron para acelerar el comercio. La regiones más remotas serán aliadas, haciendo una ciudad del universo donde alguien pueda ganar y todo pueda ser ofrecido"

John Dryden (1632– 1700)

En el año 1434 el marino portugués Gil Eannes superaba el temido cabo de Bojador, con lo que se iniciaba una sistemática exploración de la costa atlántica de África. Los portugueses eran los navegantes más audaces de la época. El cronista Gomes Eanes de Zurara escribió lleno de admiración:

"El noble espíritu del príncipe [se refiere al príncipe Enrique el Navegante (1394-1460)] le incitaba continuamente a iniciar y llevar a cabo grandes hazañas... él también deseaba conocer la tierra que se extiende más allá de las islas Canarias y del cabo llamado Bojador, porque hasta entonces nada se sabía con seguridad sobre la naturaleza de las tierras más allá del cabo, y no había sobre ellas escritos, ni relatos que los hombres se transmitiesen unos a otros... le parecía al príncipe que si él, o algún otro señor, no intentaba conseguir ese saber, no habría marineros o comerciantes que se atrevieran a intentarlo, porque es evidente que ninguno de ellos se molesta en navegar hasta un lugar donde no tienen la esperanza cierta y segura de conseguir ganancias".

Sin embargo, el cabo Bojador era una barrera mental, el prototipo mismo de los primitivos obstáculos del explorador, pues no era peor que una veintena de barreras que los experimentados marinos portugueses habían atravesado y a las que habían sobrevivido. El elocuente Zurara nos dice por qué los barcos no se habían atrevido hasta ahora a ir más allá del cabo Bojador.

"No fue por cobardía o por falta de buena voluntad, si decimos la verdad, sino por la novedad de la cosa y por las difundidas y antiguas habladurías sobre este cabo, que habían sido transmitidas por los marineros españoles de generación en generación... Pues no podemos

suponer que entre tantos hombres nobles que hicieron tan grandes y sublimes obras para ser recordado con gloria, no haya habido uno que se atreviera a esta hazaña. Pero estando convencidos del peligro, y no viendo esperanza de honor o provecho, ellos abandonaron el intento. Porque los marinos decían: « es seguro que más allá de este cabo no habita raza alguna de hombre, ni hay región que esté poblada... y el mar es tan poco profundo que a una lengua de tierra sólo tiene una braza de profundidad, las corrientes, por otra parte, son tan terribles que ningún barco que pase el cabo podrá luego regresar... » Nuestros marineros estaban amenazados no sólo por el miedo, sino por su sombra, cuyo engaño fue la causa de gastos muy grandes."

En 1434 Gil Eannes desembarcó en las costas africanas dejando el cabo de Bojador tras sus espaldas. Zurana continúa relatando:

" Y él hizo lo que se había propuesto, porque en este viaje dobló el cabo, despreciando todos los peligros, y halló que las tierras que había más lejos eran todo lo contrario de lo que él, al igual que otros, había esperado. Y si bien la hazaña era pequeña en sí misma, fue considerada grande en razón de su temeridad."

El 7 de Septiembre del año 1522, una nave destartalada con dieciocho exhaustos marinos entraba en el puerto de Sanlúcar de Barrameda. Era la "Victoria" de Juan Sebastián Elcano, que tres años antes había iniciado, en la misma desembocadura del Guadalquivir y con doscientos cincuenta hombres a bordo, un largo viaje que le había llevado a realizar la primera vuelta de circunnavegación a la Tierra. Elcano tomó la ruta occidental alrededor del cabo de Buena Esperanza. A las conocidas desgracias del hambre, la sed y el escorbuto se les agregó la hostilidad de los portugueses, que detuvieron a la mitad de los hombres de Elcano cuando hicieron escala en Cabo Verde.

Los casi 90 años que separan las hazañas de Eannes y Elcano vieron el desarrollo de los grandes descubrimientos geográficos que llevaron a cabo marineros europeos y que empezaron a dar una visión más amplia del mundo y a abrir nuevas rutas comerciales y de emigración. Los europeos empezaban a conocer y dominar el mundo. Cuando Colón emprendió su primer viaje hacia poniente, creía desde luego que la Tierra era redonda y bastante pequeña para ser circundada. Pero además de creerlo en teoría, puso en juego su vida sobre aquella base. La historia de los viajes de exploración renacentistas significan una reminiscencia del antiguo principio : *credo, ut intelligam*, "creo para comprender"; sin embargo, el nuevo espíritu europeo exige la intercalación de un nuevo miembro en la frase: *credo, ut agam; ago, ut intelligam*, "creo para obrar; obro para comprender". No sólo se aplica esta fórmula a las primeras navegaciones por el mundo desconocido. Sirve también para describir el entero proceso de la ciencia natural de Occidente.

Pero no nos engañemos. Las potencias marítimas occidentales nunca se hubieran contentado con un simple ritual de reconocimiento del nuevo mundo. Desde los tiempos más remotos, estas naciones se habían hecho a la mar para buscar aquello que no tenían. Los barcos del antiguo imperio romano surcaron el océano Índico tras los perfumes de Arabia, las sedas de China y las especias de la India. Hacia finales del siglo XV, cuando los portugueses llevaban la delantera en los mares asiáticos, la pimienta, por ejemplo, ya no era un condimento de lujo sino una materia prima fundamental de la cocina europea. No hay que olvidar, por tanto, que el posterior desarrollo de la ciencia, unido al de la navegación y la progresiva expansión europea en el siglo XVII están íntimamente ligados a intereses de tipo práctico y económico y no sólo a intereses que podríamos denominar espirituales o de simple conocimiento. Desde principios del siglo XV, los portugueses decidieron alcanzar las dos rutas orientales que enriquecían preferentemente a Venecia: la ruta caravanera de la seda que llegaba desde el lejano reino de Catay (China) y la ruta marítima de las especias que desde la India remontaba el golfo Pérsico o el mar Rojo. Pero los estados islámicos primero, y desde inicios del siglo XVI el imperio turco, dominaban estas rutas. La escuela de cartógrafos de Sagres, dirigida por el príncipe Enrique el Navegante decidió profundizar en la ruta del sur. Su llegada al Golfo de Guinea les permitió desviar parte del comercio del oro de la ruta de Sudan (1471) y 25 años más tarde doblaban el Cabo de las Tormentas y penetraban en el océano Índico. Fue entonces cuando Cristóbal Colón abrió la ruta del oeste, alcanzando las Bahamas y las islas del Caribe (1492-93) que creyó Cipango (Japón). España y Portugal, las dos grandes potencias de la época se repartieron las zonas de influencia. Portugal decidió potenciar su ruta del sur hacia el Índico ocupando los centros de producción y comercio de las especias y eliminando, tras una serie de victorias navales, el comercio de los árabes. Lisboa se convirtió en el mercado más importante de las especias de Europa con precios cinco veces más baratos que en el mercado de Venecia.

A partir del siglo XVI el océano Atlántico empezó a convertirse en el camino de dos rutas fundamentales: la de las especias con el Índico y la de los metales preciosos con América. Dos rutas que desde la Península Ibérica (Lisboa y Sevilla) se encaminaban paralelas hacia el Atlántico Sur, hacia la zona comprendida entre las islas Canarias y Cabo Verde. Desde este eje las flotas castellanas procuraban acercarse en la mayor medida posible hacia la corriente ecuatorial que les llevaba al Caribe, mientras las portuguesas, un poco hacia el oeste, buscaban las zonas de vientos alisios que les evitaran las calmas chichas del Golfo de Guinea y les llevaran a la punta meridional de África.

Los restantes viajes de Colón (1493– 1505) y los de otros marinos (Pinzón, Ojeda, Bastidas, Pineda) insistieron en explorar y colonizar las islas del Caribe, desde la desembocadura del Amazonas al golfo de México. Las primeras sospechas de que la Indias occidentales eran tierras distintas a la que los portugueses descubrían en el océano Índico fueron aceptadas tras las exploraciones del piloto florentino Américo Vesputio (1454– 1512) que estaba al servicio de Castilla y Portugal, descritas por el oscuro clérigo y cartógrafo

alemán Martin Waldseemüller quien dio origen al nombre de América "*puesto que – según sus propias palabras– Europa y Asia recibieron nombres de mujeres, no veo ninguna razón por la que alguien pudiera oponerse a que llamáramos Amerige a esta parte del mundo, es decir, tierra de Américo, o América, por su descubridor Américo, un hombre de gran talento*". Las sospechas fueron confirmadas definitivamente cuando Vasco Núñez de Balboa (1474– 1517), atravesando el istmo de Panamá, descubrió el mar del sur en 1513.

Los imperios coloniales español y luso, unidos bajo la misma monarquía entre 1580 y 1640 sufrieron durante el siglo XVII una etapa de decadencia provocada en parte por los ataques de las tres nuevas grandes potencias marítimas (Inglaterra, Holanda y Francia), por su propia falta de organización y por la decadencia de sus propias metrópolis. Las islas y las tierras limítrofes del Caribe eran el centro comercial del imperio español. Punto de convergencia de las flotas de las Indias, fueron pronto centro de atracción de piratas, corsarios filibusteros y bucaneros que acabaron estableciéndose en islas estratégicas (Tortuga, Barbuda,...) desde las que dirigían sus ataques contra los galeones españoles. El siglo XVII es uno de los grandes momentos de la piratería, y después de la piratería llegaron los esclavos negros para trabajar en las plantaciones. Después de la derrota naval española de Matanzas (1628) frente a Holanda, las pequeñas Antillas y sus grandes plantaciones de cacao, azúcar, tabaco y algodón empezaron a caer en manos de Inglaterra, Holanda y Francia. Era el comienzo de una ruta comercial que alcanzaría su máximo desarrollo durante el siglo XVIII: la ruta triangular que llevaba esclavos negros de África a las plantaciones americana y productos coloniales desde el caribe a Europa. La superioridad bélica que mostraban ingleses y holandeses frente a los portugueses acabó con prácticamente toda la actividad comercial y colonial de estos últimos en el océano Índico, donde Inglaterra y Holanda se establecieron no sin grandes problemas de convivencia entre ellas.

No cabe duda de que esta gran actividad comercial se benefició de la mejora de la comunicaciones, en las que las monarquías absolutas estaban especialmente interesadas. Para finales del siglo XVII, el tonelaje de la flota de nuestro continente estaría en torno a los dos millones de toneladas, de las que los holandeses poseían la mitad. Pero para entonces ya estaba claro que el gran momento holandés había pasado, sobre todo en lo que respecta al comercio asiático y oriental, pese a contar con medios tan eficaces como la Compañía de las Indias Orientales, pronto imitada por sus rivales, especialmente Inglaterra, que acabarían relegándola a un segundo plano.

Astronomía y navegación. La medida de la posición en el mar.

La dependencia comercial que iba adquiriendo Europa de sus colonias en Asia y América hacían de la navegación oceánica no sólo un bello arte, sino una tecnología imprescindible para las grandes potencias marítimas. Cuando se navegaba por el Mediterráneo, en el que es difícil pasar mucho tiempo sin

avistar puntos reconocibles de la costa, cualquier marino experimentado no encontraba problema alguno en arribar su nave a buen puerto. Pero las cosas cambiaban al surcar el océano, donde son muy escasas las señales fijas, y la mayoría de ellas sólo pueden ser percibidas por el observador experimentado que ya ha estado allí anteriormente. El vacío y la homogeneidad del mar, la abrumadora monotonía de la superficie de los océanos, hizo que los marineros buscasen instintivamente orientación en el cielo, en el sol, la luna y las estrellas. No es extraño que la astronomía se convirtiese en auxiliar del marino, y que la era de los grandes descubrimientos geográficos (Enrique el Navegante, Colón, Elcano) anunciara la era de una nueva astronomía (Copérnico, Kepler, Galileo).

Durante el siglo XVI se desarrolla y perfecciona la denominada "navegación astronómica". De entre los cuatro elementos clásicos necesarios para el pilotaje de un barco (latitud, longitud, rumbo y distancia), sólo la primera, sin embargo, podía determinarse recurriendo a los astros. Ya en el primer tercio del quinientos se habían propuesto dos procedimientos para obtener la longitud, uno de ellos el empleo de relojes, el otro dependiente de la posición de la Luna. Pero la relojería de la época estaba lejos de poder suministrar máquinas suficientemente exactas y la predicción del complejo movimiento lunar con la puntualidad requerida era algo que por entonces se hallaba fuera del alcance de los astrónomos. De modo que la cuestión quedó en suspenso, más no olvidada.

Entre tanto, se consolidó lo que entonces se denominaba el "arte de navegar". En él, el rumbo que seguía el buque, trazado sobre la carta náutica, venía señalado por la aguja magnética; la cuenta de la distancia recorrida dependía, fundamentalmente de la experiencia del piloto; la latitud se obtenía mediante la observación, con algún instrumento apropiado, de la estrella polar o de la altura meridiana del Sol; y la longitud se deducía sobre la carta náutica a partir de los datos anteriores. Con ellos se "echaba el punto" sobre la carta, se obtenía el lugar concreto en donde se hallaba el buque en un momento determinado. En realidad se obtenían tres puntos distintos, que con frecuencia no coincidían demasiado: el de "fantasía", mediante el rumbo y la distancia; el de "escuadría", con el rumbo y la latitud; y el de "fantasía y altura", con la latitud y la distancia. El discriminar entre ellos para tratar de averiguar la verdadera posición del barco quedaba a cargo del buen juicio del piloto.

A pesar del aparente rigor con que se planteaban los procedimientos del pilotaje, pese al recurso de la geometría para resolverlos, se podían (y se solían) cometer graves errores. La dirección indicada por la aguja magnética dependía de la posición del barco, y variaba con el tiempo de una manera impredecible. Además, por otra parte, la presencia cercana de partes metálicas del buque o la misma costumbre de llevar dos agujas, una al lado de la otra, introducía importantes perturbaciones que sólo comenzaron a investigarse en las últimas décadas del siglo XVIII.

Otras fuentes de errores provenían de la misma carta náutica. Cuando se generalizaron los viajes transoceánicos, fue preciso representar sobre un plano una considerable porción de la esfera terrestre. Las "cartas planas" empleadas, entrecruzadas por paralelos y meridianos equidistantes, constituían un representación incorrecta, dado que los meridianos convergen en los polos. Además, era preciso poder representar una línea de rumbo constante, que corta a los meridianos siempre con el mismo ángulo, mediante una línea recta. La proyección ideada por Mercator en 1555 vendría a resolver el problema, si bien su uso tardaría bastante en extenderse.

Es aquí donde los recursos de la ciencia de la astronomía podrían resolver el problema de la posición de un barco en el mar. La simple observación del cielo nocturno había revelado desde la antigüedad la existencia de ciertas regularidades en el movimiento de los astros. Las estrellas fijas y la Vía Láctea (esa banda brillante de aspecto nebuloso que atraviesa el cielo) parecían moverse durante la noche como si estuvieran rígidamente unidas a una bóveda invisible que girase alrededor de un punto fijo en el cielo, el Polo Norte celeste. Por las observaciones realizadas desde distintos puntos de la superficie terrestre podía deducirse que esta bóveda era como una gran esfera que rodeaba a la propia Tierra esférica. Ya los griegos estaban familiarizados con el hecho de que la "esfera celeste" hipotética que contenía a las estrellas parecía girar uniformemente de Este a Oeste volviendo a su punto de partida cada veinticuatro horas. Nos referimos a este movimiento como rotación diurna. Naturalmente, ahora sabemos que es la Tierra, y no las estrellas, la que gira alrededor de su eje cada veinticuatro horas y que la apariencia de la estrellas distribuidas sobre una enorme esfera es una ilusión óptica. Pero no debemos despreciar el enorme conocimiento astronómico de los antiguos por creer que observaban unos cielos en movimiento desde una Tierra estática. De hecho, la mayoría de nosotros aceptamos "autoritariamente" el punto de vista moderno aunque no tengamos argumentos convincentes que demuestren la realidad del movimiento terrestre.

Existe una estrella particular en la constelación de la Osa Menor (la estrella polar) muy próxima al Polo Norte celeste. Actualmente ésta sólo se desvía unos $0^{\circ},9$ de esta dirección y en el futuro irá siendo cada vez menor hasta alcanzar un mínimo de $0^{\circ},46$ en el año 2102 empezando a crecer de nuevo. Hiparcos, el gran astrónomo griego, ya conocían este lento movimiento del polo norte celeste a través de las estrellas fijas, fenómeno conocido como precesión de los equinoccios. Se conoce ahora que el propio polo norte celeste se mueve en un pequeño círculo y vuelve a su posición original cada 25700 años. Puede resultar curioso menciona que en el año 802 d.C. la estrella 32H Camelopardalis (en la constelación de la jirafa) distaba sólo medio grado del polo y los vikingos la utilizaban efectivamente como estrella polar aunque fuera unas cuatro veces menos brillante que la actual estrella polar.

También era sabido por los antiguos (aunque no tan bien conocido por el hombre lego de hoy), que si bien el Sol participa del movimiento diurno de las estrellas, no se mantiene solidario a éstas. Observando las estrellas, justo

antes de amanecer y justo después de la puesta de Sol se puede ver que éste cambia lentamente su posición respecto a las estrellas cada día. Al cabo de 365 días y un cuarto regresa de nuevo a la posición inicial. Si seguimos con un trazo imaginario sobre la bóveda estrellada esta trayectoria del Sol, obtendremos una línea circular denominada eclíptica que va atravesando una serie de constelaciones conocida como banda del zodiaco. En efecto, el Sol parece tener un movimiento a lo largo de la dirección Norte-Sur. El 21 de Marzo (equinoccio de primavera) el Sol está directamente, a mediodía, sobre la vertical en los lugares situados a lo largo del ecuador terrestre, y después se mueve cada día más hacia el Norte hasta que el 21 de Junio (solsticio de verano) está directamente sobre la vertical, a mediodía, en los lugares situados a $23^{\circ} \frac{1}{2}$ al norte del ecuador (trópico de Cáncer). El sol empieza a moverse entonces hacia el Sur, de tal modo que el 23 de Septiembre (equinoccio de otoño) está directamente sobre la vertical, a mediodía, de nuevo en el ecuador, y el 21 de Diciembre (solsticio de invierno) está sobre la vertical, a mediodía, en los lugares situados a $23^{\circ} \frac{1}{2}$ al sur del ecuador (trópico de Capricornio). El Sol se mueve de nuevo hacia el Norte y el ciclo se repite.

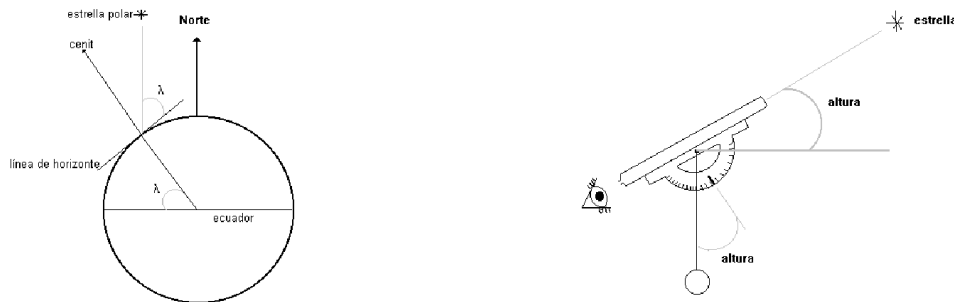
El movimiento Norte-Sur del Sol es, naturalmente, el principal factor que determina la temperatura sobre la superficie terrestre. Entre el 21 de Marzo y el 23 de Septiembre el día tendrá una duración superior a las 12 horas en el hemisferio norte, y el Sol estará relativamente alto en el firmamento (según la latitud). Entre el 23 de Septiembre y el 21 de Marzo la duración del día es menor de doce horas en el hemisferio norte y el Sol no se eleva muy alto. Esta circunstancia será justamente la opuesta en el hemisferio sur. Es el 21 de Marzo y el 23 de Septiembre, el día y la noche tienen la misma duración, de donde procede el término equinoccio (igual noche, en latín).

La correlación entre las estaciones y el movimiento del Sol a través de las estrellas fue un descubrimiento científico de vital importancia en las antiguas civilizaciones agrícolas. Al establecer un calendario, originado en Egipto, de 365 días, los antiguos astrónomos podían predecir la llegada de la primavera y decir al agricultor cuándo debía sembrar sus cosechas. Eventualmente se encontró que tal calendario se hacía cada vez más inexacto, a menos que se añadieran algunos días extra para tener en cuenta el hecho engorroso de que el año solar consta de 365 días más un cuarto de día. Otra dificultad estaba en que la posición del Sol en el Zodiaco en el equinoccio de primavera variaba gradualmente a lo largo de los siglos. Mil años antes de Cristo el Sol, el día 21 de Marzo, estaba entre las estrellas de la constelación de Aries, pero, poco a poco, se desplazó a Piscis, donde se encuentra ahora todos los años en esa fecha. Dentro de unos siglos estará en Acuario (de ahí la frase de la astrología popular de que la Edad de Acuario está al llegar). Este fenómeno es otro aspecto del movimiento gradual del polo Norte celeste antes mencionado.

Cuando los hombres se dispusieron a explorar los océanos descubrieron que era más necesario que nunca conocer bien los cielos. Tenían que situarse en la latitud norte o sur del ecuador y en la longitud este u oeste de algún punto convenido. Pero siempre fue mucho más difícil determinar la longitud que la

latitud. Esto nos permite comprender por qué el nuevo mundo permaneció durante siglos sin descubrir, por qué Colón tuvo el valor de partir en su viaje de descubrimiento, y por qué Oriente y Occidente estuvieron separados durante tanto tiempo.

Una primera forma de medir la latitud parece por tanto, tal y como lo hacían los griegos, la determinación de la altura de la estrella polar sobre el horizonte. La precisión de la medida de la latitud utilizando la altura de la estrella polar es de unos dos grados, porque recordemos que ésta se desvía aproximadamente un grado de la dirección del eje de rotación de la Tierra. Dos grados de la circunferencia terrestre en el ecuador significan unos 220 km. de error en la distancia.



Para una medida más precisa de la latitud podemos utilizar la altura del sol cuando éste se encuentra en el punto más alto de su trayectoria sobre cielo, es decir, justo en el mediodía solar. El ángulo que forma el sol de mediodía con el cenit en el ecuador se denomina declinación solar y existen tablas muy precisas (efemérides) que nos dicen la declinación solar en cualquier momento del año. La figura 3 nos revela la relación entre la altura solar al mediodía y la latitud del lugar donde nos hallamos.



Figura 5.

Llegados a este punto, todavía nos queda por resolver una pequeña cuestión: ¿cómo determinamos el momento preciso del mediodía solar?. La solución consiste en empezar a hacer varias medidas de la altura del sol algún tiempo

antes del mediodía y continuar midiendo hasta estar seguros de que el sol ha comenzado a bajar. Se anota cada valor medido y se construye una gráfica, tal y como se indica en la figura 4. Dibujando una curva a través de los puntos obtenidos podemos obtener un valor bastante correcto para la altura del sol al mediodía. Así, con este método se puede obtener una precisión para la latitud de medio grado o aún menos.

Los marineros medievales utilizaban para las observaciones exigidas para la determinación de la latitud una simple ballestilla, o báculo de Jacob. Dos varillas unidas en uno de sus extremos por un gozne podían medir el ángulo de declinación cuando el observador nivelaba la varilla inferior con el horizonte y la superior con el sol o la estrella elegida. El principio de la ballestilla, conocida por los antiguos griegos con el nombre de *dioptra* y por los árabes como *kamal*, ya era aplicado en la Europa occidental hacia el año 1342. John Davis, un inglés, inventó en 1595 una ballestilla más manejable, llamada también "cuadrante inglés", que permitía que el observador estuviera de pie con el sol a la espalda, y evitaba el deslumbramiento.

Para la medida de la longitud se requiere un reloj preciso. Todos los lugares de la Tierra experimentan, a causa de la rotación del planeta, un día de veinticuatro horas por cada vuelta completa de 360° . La Tierra, a medida que gira, hace que sea mediodía en diferentes lugares sucesivamente. Cuando en Estambul es mediodía, en Londres, hacia el oeste, aun faltan dos horas para que el sol alcance la culminación. Podemos afirmar entonces que Londres se encuentra a treinta grados de longitud, o a dos horas al oeste de Estambul, lo que hace que estos grados de longitud sean a la vez una medida de tiempo y de espacio. Si se pone en hora un reloj lo suficientemente preciso en Londres y se lleva a Estambul, se podrá saber cuán lejos se ha viajado hacia el este comparando la hora del reloj que se ha llevado con la hora local de Estambul, y también se podrá saber a qué distancia, hacia el este, está Estambul con respecto a Londres.

El problema de la medida de la longitud en el mar.

El gran problema de los marineros de los siglos anteriores al XVIII es que no existía un reloj que se pudiese llevar en un barco y que fuese lo suficientemente preciso. El marinero que deseara orientarse entonces tenía que ser un matemático. El modo aceptado de calcular la longitud en el mar era mediante exactas observaciones de la Luna, que requerían instrumentos afinados y cálculos sutiles. Una pequeña equivocación de sólo cinco minutos de arco al observar la Luna se traducían en un error de unos dos grados y medio de longitud, que en el océano podían ser unos 250 kilómetros, más que suficiente para que un barco naufragara en unos traicioneros bancos de arena. Los fatales errores de cálculo podían ser producidos por un instrumento rudimentario, por un error en las tablas náuticas o por el mismo balanceo del barco. Una variación del método lunar para calcular la longitud es

excelentemente descrito por Américo Vesputio que llevó tablas astronómicas de la Luna y los planetas en sus navegaciones:

"En cuanto a la longitud, declaro que hallé tan difícil el determinarla que sólo con grandes trabajos pude averiguar la distancia este-oeste que había recorrido. El resultado final de mis tareas fue que no encontré nada mejor que hacer que mirar por las noches y hacer observaciones sobre la conjunción de un planeta con otro, y especialmente la conjunción de la luna con los otros planetas, porque la luna es más veloz que cualquier otro planeta..."

Después de muchas noches de hacer experimentos, en la noche del 23 de agosto de 1499 hubo una conjunción de la luna con Marte, lo cual, de acuerdo al almanaque [de la ciudad de Ferrara] debía ocurrir a medianoche, o una media hora antes. Yo descubrí que cuando salió la luna, una hora y media después de la puesta de sol, el planeta había pasado por aquella posición en el este."

El problema de la medida de la longitud era tanto un problema de educación como técnico. Las grandes naciones de navegantes organizaban, con optimismo, cursos de matemáticas para sus marineros. Cuando Carlos II instituyó un curso de matemáticas para cuarenta alumnos en el Christ's Hospital, la célebre escuela de caridad de Londres, los profesores hallaron que era difícil satisfacer a la vez a los marineros y a los matemáticos. Los directores de la escuela, que habían notado que Drake, Hawkins y otros grandes navegantes se las habían arreglado bastante bien sin saber matemáticas, preguntaron si realmente eran necesarias para los futuros marineros. Sir Isaac Newton, a favor de las matemáticas, sostuvo que la antigua regla del pulgar ya no era suficiente. Samuel Pepys, secretario del Almirantazgo, ya había establecido un examen para los tenientes de navío que incluía náutica y, siguiendo los consejos de Newton, se enviaron profesores de la marina a bordo de los navíos para enseñar matemáticas a las tripulaciones.

Galileo y los satélites de Júpiter.

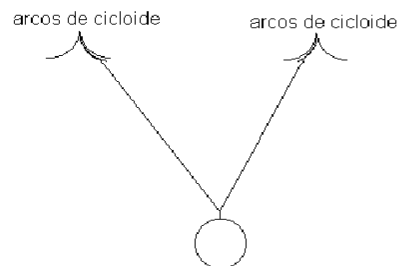
Galileo recibió información de un premio de cien mil florines que los Estados Generales de la Provincias Unidas de los Países Bajos habían convocado con objeto de resolver el urgente problema de la longitud. El sabio italiano indicó en 1610 a los Estados Generales que la longitud podía ser determinada en el mar mediante la observación de los cuatro satélites de Júpiter que él había descubierto aquel mismo año. Pero esto exigía una prolongada observación a través de un gran telescopio situado sobre la movediza cubierta de un barco navegando, lo que hacía que esta solución fuese poco práctica. Galileo inventó entonces un casco con un telescopio acoplado que el observador podía utilizar sentado en una silla montada sobre balancines similares a los que se usaban para mantener en posición horizontal la brújula del barco. Este método

demostró con el tiempo su utilidad para la topografía, pero nunca fue eficaz para el mar. Galileo recomendó finalmente la creación de un reloj exacto para el mar. Después de descubrir que el péndulo era un sencillo mecanismo natural para medir el tiempo, Galileo pensó que tal vez podría proporcionar un reloj marino exacto. Sólo cuando se encontraba en el retiro forzoso de sus diez últimos años de vida, Galileo exploró esta posibilidad, y la ceguera le impidió entonces montar el reloj que había diseñado.

El reloj marino de Huygens

Los holandeses, que para aquella época tenían avanzadas hacia el Este, en las costas de Asia, sentían más que nunca la necesidad de definir mejor la longitud y de contar con un reloj marino. Christian Huygens (1629– 1695), un joven brillante, se dispuso a resolver el problema. Lo intentó una y otra vez desde los veintisiete años, cuando concibió su primer reloj de péndulo, pero nunca lo logró del todo, pues un péndulo no podía medir el tiempo con precisión en un barco que se balanceaba en las olas.

En 1673 apareció su gran obra *Horologium oscillatorium* donde presentaba un descubrimiento científico de primera magnitud: la oscilación de un péndulo es isocrona solo cuando la trayectoria que el péndulo describe es un arco de cicloide. Huygens había construido en 1661 un reloj marino donde había ya aplicado esta idea. Para lograr la oscilación arcocicloidal, los cables de sujeción del péndulo se apoyaban sobre dos arcos de cicloide tal y como se puede ver en la figura a continuación.



Pero Huygens pronto se dio cuenta que el mecanismo que habría de regir el funcionamiento de un reloj marino tenía que ser independiente de la fuerza de la gravedad.

En 1714, el Parlamento de Inglaterra aprobó una ley para proporcionar una pública recompensa a aquella persona o personas "que descubrieren la longitud en el mar". Un consejo de la Longitud, que incluía navegantes y

sabios, otorgaba sumas de hasta dos mil libras para apoyar experimentos prometedores y estableció un premio que estipulaba que en un viaje de ida y vuelta a un puerto americano se concederían 10.000 libras al que obtuviese una precisión de un grado, 15.000 si lo era de sólo dos tercios y 20.000 si se conseguía de sólo medio grado. La urgencia de resolución del tan perseguido problema provenía de la humillación sufrida por la marina británica en el hundimiento de una flota de barcos en 1707, en unas rocas de las islas Scilly, un puñado de ciento cuarenta islotes a menos de 65 kilómetros de Land's End, en la costa sudoeste de Inglaterra. Era, sin duda, una invitación a los excéntricos. Una de las propuestas fue la de situar por todo el mundo barcos hundidos en emplazamientos conocidos, y enviar señales desde ellos. Se propuso también que se publicara una tabla de mareas universal, para que luego un marinero pudiese, utilizando un barómetro portátil, determinar su posición según el esperado crecimiento y descenso de la marea en aquel lugar. Otro sugirió que se usaran faros para transmitir las necesarias señales de tiempo sobre las nubes. Muchos afirmaron que tenían técnicas que no se atrevían a revelar públicamente por temor a que otro obtuviese el premio. Los manicomios se vieron invadidos de internos que trataban de resolver el problema de la Longitud.

La solución del problema de la longitud.

Parece ser que el arquitecto italiano Brunelleschi fabricó un reloj impulsado por un resorte alrededor del año 1410. Sin embargo, fue Robert Hooke (1635–1703) quien conjeturó en 1658, cuando sólo tenía veintitrés años, que el regulador de un reloj marino podía basarse en el uso de resortes en lugar de la gravedad, para conseguir que un cuerpo vibre en cualquier postura. Un resorte enganchado a un volante de reloj podía ser hacer que el volante oscilara de un lado a otro alrededor de su propio centro de gravedad, proporcionando así el movimiento periódico que se necesitaba para poner en marcha y detener el mecanismo y señalar unidades de tiempo. Esta intuición crucial haría posible la creación de un reloj marino. Los honores de crear un reloj marino lo suficientemente preciso para ganar el premio convocado por el Consejo de la Longitud inglés, correspondieron a John Harrison (1693–1776), hijo de un carpintero de Yorkshire. En 1728, Harrison presentó los planos de un cronómetro marino controlado por un resorte al famoso fabricante de instrumentos londinense George Graham, consiguiendo ayuda económica de éste para emprender su construcción. El reloj fue probado en un viaje a Lisboa, en 1736, con resultados bastante aceptables. El premio inglés, sin embargo, estipulaba que las pruebas debían efectuarse en el trayecto de ida y vuelta a las indias occidentales. Harrison construye sus cronómetros números dos y tres, el último de los cuales fue ensayado en un viaje de Portsmouth a Jamaica, a bordo del Deptford, a finales de 1761. Los resultados son buenos, pues el error cometido tras los 81 días de prueba es menor de un tercio de grado. No obstante, el Consejo de la Longitud se resiste a concederle el premio, exigiendo un nuevo viaje de prueba y la exposición, ante un comité de expertos, de los principios de su reloj. El viaje se efectuaría en 1764, a la isla de Barbados, a bordo del Tartar, también con buenos resultados. Y al año siguiente, Harrison explicó la construcción de su reloj. Pero todavía se le exigió

una nueva prueba de su marcha en el Observatorio de Greenwich, a cargo del astrónomo Nevil Maskelyne. Las discrepancias entre el relojero y el astrónomo sobre el procedimiento a seguir para controlar la marcha del reloj retrasarán la entrega del premio hasta 1773.

Estos no fueron sino los primeros pasos de la cronometría de longitudes; era todavía preciso dar el salto desde la construcción de estos primeros y costosos relojes a una producción más masiva. Algo que se produciría con rapidez, sobre todo en Inglaterra, aunque los marineros siguieron empleando durante unos cuantos años más el método lunar, lleno de engorrosos cálculos matemáticos, que había mejorado su precisión, en parte por la disposición de mejores tablas, y en parte por la mejora de los instrumentos de medida.

Bibliografía

Boorstin, Daniel J. "Los Descubridores". Ed. Crítica

Herrmann, Joachim "Atlas de astronomía". Alianza Editorial

Huygens, Christian "Horologium oscillatorium" (1673)

Roig, Obiol Joan. "Atlas Histórico". Vicens Vives

Sellés A. Manuel "Astronomía y Navegación en el siglo XVIII". Historia de la Ciencia y de la Técnica. AKAL

Usher, Abbott Payson. "A History of Mechanical Inventions". Dover Publications, INC. New York