

LA NAVEGACION

*Reinaldo Rivas González
Capitán de Navío*

En la obscuridad abismal de la noche, un navío se desplaza velozmente casi a 22 nudos surcando las aguas quietas de un canal. El oficial de guardia en el puente sabe que pronto debe caer a un nuevo rumbo que ha calculado para cinco minutos más, cuando al situarse en la carta el punto le dio una distancia de poco más de dos millas, que está seguro recorrerá en ese tiempo. A su alcance tiene una exacta corredera de fondo que le indica hasta las décimas de milla, un preciso girocompás que lo lleva exactamente por el rumbo dispuesto y una máquina poderosa y estable que da al navío la velocidad que se le ha determinado. Nada al azar, todo pensado, planificado técnica y científicamente; su función es sólo ejecutar y controlar, haciendo las pequeñas correcciones que sean del caso. Incluso, esta vez hasta las condiciones de tiempo son excelentes y no afectarán la derrota trazada para el navío. Seguridad, eficiencia y rapidez son las normas que rigen hoy en día las actividades marítimas en el mundo, alternando la prioridad de estos parámetros según las circunstancias.

El despertar

Seis mil o cuatro mil años atrás, en los albores de nuestra civilización, cuando el hombre primitivo oteaba desde tierra firme el vasto horizonte del mar que ante sus ojos se presentaba, su único pensamiento, tal vez, estaba centrado en la inmensidad de este océano, que le hacía divagar en la incógnita de lo que hubiese más allá y las posibilidades que tenía para desentrañar este misterio.

Quizá la expresión implique un crédito exagerado a un ser humano incipiente, más preocupado de sobrevivir que de progresar en medios, pero imaginemos, al amparo de relatos existentes, a este inquieto ser pensante que observaba cómo el Sol cada día emergía desde un extremo del horizonte para, horas después, hundirse en el lado opuesto; y también a esa miríada de estrellas que cada noche aparecían en el firmamento y que lentamente recorrían el cielo, todas en conjunto. Por eso debemos considerar que todos estos periódicos cambios de su universo eran efectivos estímulos para su imaginación creadora.

Existen indicios de que sus primeros esfuerzos para flotar los hicieron en cueros inflados de animales y en rústicas balsas, las que luego dieron paso a embarcaciones más elongadas que les permitían un desplazamiento más rápido y con menos esfuerzo a estos primeros nautas que iniciaron la maravillosa aventura de la navegación. Según cuentan los registros más antiguos de la Historia, ellos se desarrollaron inicialmente en el estuario del Nilo, remontándolo río arriba para después volver cargados con bloques de piedra que se usarían en la construcción de las pirámides de Egipto.

Una cosa era flotar y otra avanzar, y muy pronto el hombre descubrió el remo, que inicialmente era un palo largo que fincaba en el fondo del légamo, al que luego se le agregó una pala con la cual iban propulsando sus embarcaciones. Así aumentó el ámbito de sus conocimientos de nuevas tierras, donde encontró cosas deseables, cosas apetecibles, situación que dio origen al fenómeno del intercambio comercial o de su posesión por la

fuerza, lo cual de hecho era más fácil hacerlo por mar que cubriendo las enormes distancias terrestres que separaban a los pueblos en el Mediterráneo, el mundo conocido de la época.

Parece entonces natural pensar que las primeras navegaciones de cretenses, fenicios, griegos, egipcios, etc., deben haber sido costeras y a lo más hasta la próxima isla o tierra firme que ellos tenían a la vista, o tal vez puede haber sucedido que por causa de una tormenta se hayan perdido y, sin quererlo, visto obligados a enfrentarse con un problema básico de orientación; de esta forma, en cada uno de estos viajes —que deben haber sido homéricos— iban adquiriendo más experiencia que en el anterior, la que tuvieron el buen juicio de ir compilando ordenadamente para beneficio de las siguientes generaciones de marinos.

Los rudimentarios conocimientos de ese universo astronómico sólo apreciados por los efectos palpables e inmediatos de la Naturaleza, les hacía ser cautos en sus aspiraciones; entonces, es muy posible que los primeros pasos de raciocinio en el concepto de ubicación haya sido dividir el horizonte en mitades, en palabras de hoy, en cuadrantes. Y es muy posible también que en la soledad de sus travesías, cuando ya habían pasado del remo a la vela, recordaran lo que ya habían visto en tierra firme: la dirección en que el Sol nacía al comenzar el día, asociada con los vientos que venían de esa dirección en una época determinada del año y en sentido opuesto en las otras estaciones. Por las noches, sus mentes debieron concentrarse en la observación de las diferentes elevaciones que tenían las diversas estrellas; comenzaron a agruparlas y a darles nombres, tales como Osa Mayor y Osa Menor, descubriendo además que el tránsito que hacían por el firmamento semejaba a un círculo y que la aparición de determinados astros tenía relación con algún efecto particular de las estaciones, lo que les servía para guiarse en sus actividades.

Entre todas, llegaron a fijarse en una estrella que parecía estar fija en el cielo; era la estrella Polar, a la que bautizaron como *Stella Maris*, no tardando mucho en darse cuenta de su utilidad para establecer algunas relaciones elementales de orientación que aplicaban a la navegación, pues ella los guiaba correctamente a sus destinos. Así, a fuer de muchos viajes, llegaron a ciertas conclusiones prácticas: por ejemplo, sabían que cuando la Osa Menor estaba sobre el trinquete, el Bósforo estaba por la proa; y cuando Arcturus bajaba del penol del palo mayor "y Cynosure cerca del horizonte, el rumbo estaba directo sobre Siria".

La misma Odisea relata que el héroe griego "...en las noches vigilaba constantemente, con el ojo puesto en las Pléyades, manteniendo siempre a su izquierda la Osa Mayor cuando cruzaba el océano con rumbo Este...", lo que astronómicamente es correcto ya que ambas estrellas tienen aproximadamente once horas de ascensión recta y ambas son siempre visibles en el horizonte. La explicación de la época decía que era el consejo dado por la diosa Calypso(ς).

Para los antiguos, hablar de dirección era hablar del viento, ya que por su repetición constante y su carácter cíclico asociado con el periódico cambio de estaciones, llegaron a establecer con cierta certeza que el viento frío venía del norte, al que llamaron Bóreas; que el viento cálido venía del sur, al que denominaron Notus; que en el Mediterráneo el Zéfiro soplaba desde donde se ponía el Sol, es decir del oeste; en cambio, el viento opuesto —que venía del este— era seco y fresco y lo llamaban Apeliotes.

Como sabemos, al recordar la distribución general de los vientos, todas estas observaciones eran correctas, pues parten de la base que las corrientes aéreas se inician en las masas de aire frío que vienen del Ártico y Antártico, respectivamente, y luego en latitudes más bajas se distribuyen en los *trades winds* y en los monzones, principalmente. Y esta es la razón del porqué al compás magnético, incluso hoy, le llamamos también rosa de

los vientos, que primero fue de los cuadrantes, luego de 4, 8 y 12 puntos, hasta llegar finalmente a los 32 puntos aún en uso; originalmente fue creada por Temóstenes, romano de nacimiento que trabajó como piloto jefe del rey egipcio Ptolomeo III (286-246 a.C). La misma creencia la tenían los griegos, que incluso llegaron a erigir un monumento recordatorio: la Torre de los Vientos, orientada en sus puntos en la dirección de éstos.

Los tiempos antiguos

Podemos inferir que en sus comienzos la navegación fue una aventura extraordinaria, quizá de más trascendencia que las expediciones terrestres, porque encerraba la incógnita del regreso, por demás incierto. No contaban prácticamente con nada; sin embargo, con sus frágiles embarcaciones, los cretenses fueron capaces de cruzar el Mediterráneo en toda su extensión, y los fenicios alcanzaron hasta el Canal de la Mancha, por el oeste, y el Mar Rojo, por el este, mejorando cada vez más sus conocimientos; profundizando sus experiencias en los astros llegaron a comprobar que al desplazarse más hacia el norte la Osa Mayor se hundía en el horizonte, y que Canopo del Pez Austral, estrella apenas visible en Fenicia, ahora era claramente observable.

Para los sabios estos hechos constituían una afirmación más de que la Tierra era redonda; para los marinos, en cierto modo, era una conclusión que no tenía mayor sentido práctico, pues lo único importante era el rastreo del horizonte en el día y del firmamento en la noche, en búsqueda de signos o señales exteriores que les dieran una idea de las cercanías de costa, medida por el fondo marino, su composición, la profundidad, el ruido superficial de las olas y la violencia de éstas, la presencia y los graznidos de los pájaros, los cambios de los sonidos, las nubes, las variaciones de las corrientes, etc., y todo aquello que les sirviera para ir conformando un cuadro general del lugar donde debían encontrarse; a medida que más avanzaban, éstas se convertían en evidencia, sin más elementos que un escandallo y su aguzada intuición marinera, que la obvia necesidad les había desarrollado.

En tanto, el mundo progresaba y las civilizaciones adquirían niveles de cultura superior. Había algunos hombres de espíritu científico, tales como Eratóstenes, que de la simple observación del Cosmos había llegado a ciertas conclusiones, como fue la primera concepción de latitud y longitud sobre la superficie de la Tierra; calculó (150 a.C.) que un grado de latitud era igual a 700 estadios; además determinó un meridiano que pasaba por Alejandría, calculó el diámetro de la Tierra, etc., elementos entonces dispersos pero que lentamente irían formando más tarde el saber de las cosas del mar.

Hubo otro estudioso de la astronomía, que además fue marino, que tuvo el mérito de establecer la relación entre estos descubrimientos y su aplicación en la navegación. Piteas de Massilia (siglo iv a.C.) fue el primero en concluir que la estrella Polar no estaba en el mismo Polo Norte; fue también quien se dio cuenta de la elipticidad de la órbita de la Tierra y quien estableció la influencia de los movimientos y edad de la Luna con las mareas y las corrientes, ya que aún en esa época persistía —al paso de las generaciones— la creencia mitológica que Eolo, dios de los vientos y antiguo pescador, había sido divinizado en el Olimpo por haber enseñado a los hombres a usar los vientos y vencer las corrientes de mareas que producía la diosa Caribdis, lo que antes no había logrado Ulises cuando su buque era expulsado dos veces al día de la rada donde se albergaba (Estrecho de Sicilia).

En este curso de la Historia, las naves que habían sido usadas primitivamente sólo para el comercio tuvieron su aplicación guerrera por primera vez, y que no sería la última; fue en la batalla de Pelussio (1200 a.C), cuando los libios y los cretenses, juntos, intentaron invadir

Egipto desde el mar, siendo rechazados en el estuario del Nilo por la flota de Ramsés III; se desarrollan luego verdaderas flotas de guerra cuando los persas —al mando de Jerjes, en el año 486 a.C, en la muy conocida batalla de Salamina— tuvieron la intención de invadir Grecia, siendo derrotados por Temístocles; finalmente en la batalla de Actium (31 a.C), cuando Dulus dio a Roma el dominio del Mediterráneo, que desplazó a los cartagineses del mundo antiguo a que nos hemos referido, y ello fundamentalmente por la experiencia de sus marinos hechos guerreros.

Haciendo un resumen de los métodos de navegación de esa época más que milenaria, vemos que:

— La altura de las estrellas sólo estaba referida a su paso por el cenit y su posterior descenso al horizonte, además del hecho de que los marinos usaban los astros sólo para orientarse, sin mayor fundamento científico y ni otra sustentación que la experiencia de un oficio tantas veces repetido; los astrónomos, en cambio, hacían mediciones por latitud y longitud para fijar puntos conocidos en la Tierra, que eran las ciudades, pero sin mayor interés en darles una aplicación náutica.

— La división del círculo del horizonte en grados, minutos y segundos, fue introducida por Hiparco, pero esta aplicación demoró siglos debido a que los marinos hacían las mediciones angulares por sistemas simples, tales como el grosor de un dedo = 2° , la palma de la mano = 8° , etc. La medición de las distancias fue desde un comienzo dispar y complicada: un estadio = 600 pies; luego, un grado = 420 mil pies. (Siglos después los ingleses adoptaron 1 milla = 5 mil pies; 1 legua = 4 millas y 1 grado = 17,5 leguas, que persistieron por muchos años). Para navegar usaban comúnmente los días de navegación, que en la mar era una medida muy variable, aproximadamente unas 100 millas, que podían ser 70 en el día y de 30 a 60 en la noche. Estas, a su vez, eran registradas en relojes de arena.

— Al parecer no usaban cartas náuticas, ya que no hay el más mínimo indicio ni registro sobre el particular. Esta situación no tiene una explicación congruente, pues para tránsitos terrestres hay noticias de Herodoto, sobre mapas del Asia Menor.

— Sin embargo, hay antecedentes de que los antiguos ya contaban con derroteros de los mares que navegaban, que eran documentos exactos de relatos y experiencias marineras. El más antiguo es el de Scylax, que al término de su periplo mediterráneo (siglo iv a.C.) hizo una descripción de su viaje, agregando además todo lo conocido en esa época de las cosas del mar.

Incluso hay noticias de un Código Marítimo atribuido a los marinos de Rodas, que además reglamentaba el ejercicio de la profesión pues, entre otras cosas, había que distinguir entre el capitán de la nave, a veces dueño del buque —que tenía la responsabilidad del destino de éste y no necesariamente podía tener experiencia marinera— y el piloto, que era contratado para dirigir la nave pues sabía orientarse en las largas navegaciones. Además habían otros pilotos especializados para aguas locales de los países donde llegaban.

— El primer faro o señal de tierra para direccionar las naves fue una torre en el brazo oeste del Nilo, que servía de orientación a los buques en su recalada. Se supone que posteriormente los griegos, y particularmente los de la Isla de Pharos, tuvieron la idea de iluminarlos.

En los mil años que siguieron al nacimiento de Cristo, las cosas en la mar no prosperaron mucho más que en otras artes o actividades, pero aún así hubo un progreso en que destacan los viajes de los marinos nórdicos, que volvieron con nuevos conocimientos de otras tierras descubiertas, y se sabe que llegaron hasta Islandia y luego a Groenlandia (870 d.C.). Otro vikingo, Floki-Sodor, llegó más tarde a las Shetlands y de allí pasó a las Islas Feroes; el famoso Eric el Rojo descubrió abundantes pesquerías en su viaje a Groenlandia; también se le atribuye a un nórdico el haber descubierto o alcanzado por primera vez las costas de Norteamérica (1000 d.C.).

Sus métodos seguían siendo primitivos, guiándose por la estrella Polar y llevando pájaros que soltaban en alta mar al regreso, al igual que el bíblico patriarca Noé. Como su forma de orientación era el viento quedaban inermes en los períodos de calma, por lo que seguían valorando los signos exteriores: las nubes, el color del agua en las diferentes regiones, etc.; en resumen, confiando en sus apreciaciones personales sobre la naturaleza y conducta del mar, el viento y las estrellas.

Y a pesar de todo, en esta oscura época de la Humanidad hubo un hombre estudioso, egipcio de nacimiento (Claudio Ptolomeo; 150 d.C), que contribuyó muy decididamente a las ciencias en general y a la navegación en particular, pues construyó el primer mapa terráqueo de que se tiene noticia. Lamentablemente, para su elaboración tomó un dato erróneo del diámetro de la Tierra (18 mil millas); en consecuencia, fue aceptado que la Tierra era mucho más pequeña que su real dimensión (hasta que Jean Piccard, en 1889, demostró que medía 24.500 millas náuticas). En este mapa estaban fijados por latitud y longitud unos ocho mil lugares conocidos, y por primera vez la orientación de la carta era con el norte hacia arriba.

Pese a su connotada experiencia en astronomía, Ptolomeo enunció la tesis de que la Tierra era el centro de nuestro sistema planetario y que el Sol giraba en torno a ella, cuya explicación se fundaba en los efectos diarios visibles; este error se aceptó por siglos, hasta que Nicolás Copérnico demostró lo contrario. Sin embargo, este hecho tuvo repercusiones negativas para los marinos, pues en virtud de dicha falsa premisa todo resultaba equivocado y pasó mucho tiempo sin adelantar en las prácticas de navegación, como hubiese sido la lógica secuencia de un raciocinio correcto para desarrollar métodos y procedimientos que también hubiese sido lógico esperar.

En torno al primer milenio

Podríamos decir que el comienzo del segundo milenio termina con esta época de obscurantismo intelectual y marca un decidido cambio para la civilización europea, pues por entonces los niños sólo aprendían un poco de aritmética para llevar las cuentas en el comercio o en las bodegas de los buques, y la astronomía se reducía a llevar bien la contabilidad del calendario.

Habían impedimentos para progresar, porque en Europa occidental se usaba el latín; el idioma griego era desconocido y además sus libros eran considerados paganos. Las matemáticas eran rechazadas porque estaban catalogadas como artes o magia; en cambio, gustaban de la geometría y de la astronomía, pero en lo que nos interesa debemos decir que este atraso también se debió a otras circunstancias históricas de la época.

Prácticamente, fueron los sirios los únicos que en los tiempos antiguos tradujeron los más importantes textos griegos a su idioma; como es sabido, Siria fue el primer país que cayó bajo la dominación de los árabes, quienes a su vez —muy rápidamente— absorvieron la cultura siria y tradujeron sus libros a la lengua del Islam, que por motivos religiosos no se

vinculaba con los europeos y pasaron siglos en guerra. Una vez más no hubo intercambio intelectual; por el contrario hubo atraso y retroceso.

Diremos que el primer cambio sustancial que hubo a partir del año 1000 fue un acentuado desarrollo del estudio de las matemáticas y su aplicación en la astronomía; el segundo cambio fue el descubrimiento de las propiedades de dirección y orientación que tenía la piedra magnetita, aunque en realidad ya era conocida por los antiguos.

De cómo se llegó al compás magnético de hoy en día, la historia es larga y en cierto modo pintoresca, porque inicialmente dicho conocimiento era sólo aprovechado por los llamados magos, para impresionar a su auditorio; mas alguien, no se sabe quién, se percató de que la magnetita apuntaba hacia el norte, que en la realidad era el meridiano local del experimentador. En el año 1240 un monje dominico, en su libro *Naturaleza de las Cosas*, escribía: "Cuando las nubes no dejan ver el Sol, los marineros toman una aguja, la friccionan con una piedra imán y con una pajita la hacen flotar en una vasija con agua; luego, con la piedra imán a su alrededor, la hacen girar rápidamente hasta que ésta adquiere velocidad de rotación y de pronto la piedra es lanzada lejos, y la aguja disminuye su velocidad de rotación hasta detenerse siempre con su punta hacia la Stella Maris (la Polar) y de esa posición no se mueve".

Hubo otros también, como Roger Bacon, y el mismo San Agustín, que fue soldado, que comprobaron las propiedades de dirección de la aguja flotante en una pajita, que hemos descrito, e incluso el genio visionario de Leonardo da Vinci hizo un dibujo de un compás montado en un pequeño buque orientado al meridiano local que ellos conocían.

Que sólo los monjes tuvieran estos conocimientos no era casualidad exactamente, sino que éstos, por el hecho de tener que viajar a Roma o de integrar las Cruzadas, tenían la oportunidad de embarcarse; en términos generales, eran los únicos letrados que hacían largas navegaciones, en las cuales sus mentes —más adiestradas a la observación y a la reflexión— podían llegar a establecer conclusiones que lamentablemente quedaban en el área del conocimiento puro, sin aplicación práctica ni ulterior desarrollo por los marineros medievales, que no tenían mayor ilustración.

Hay que acotar, sí, que en aquellos años en el Mediterráneo, y asentada en Italia, había una especie de sociedad marítima, una élite, que consciente de este atraso buscaba ansiosamente el mejoramiento de los sistemas de navegación, y donde todo invento era bien recibido. Pero aun así no se sabe exactamente cómo y por quién fue desarrollado el compás magnético, pareciendo que fueron sucesivas ideas e inspiraciones las que lo adaptaron a las naves mejorando el modelo original, cuya primera aplicación conocida para la orientación y dirección fue de carácter terrestre, cuando Gengis Khan guiaba a sus huestes hacia Occidente.

Se dice que fue en Amalfi donde a un fabricante de instrumentos se le ocurrió colocar una rosa de los vientos adosada a estas agujas flotantes, creando así el prototipo de este invento; con el tiempo se le fueron sumando otras mejoras a esta vasija con agua que en los buques se la metió en un sitio más seguro, en una caja, bussola en italiano, palabra que con los años derivó en brújula.

Para preservarla de los vientos y de la lluvia, a esta caja —que ahora tenía una lantia para iluminarla— se le hizo una nueva construcción que originalmente se le llamó "habitaculum", que a su vez derivó en bitacle, hoy bitácora, tan corrientemente conocida.

Con el correr de los años la rosa de 32 puntos fue implementada con la división de 360°, que hoy conocemos. Un inglés fabricante de instrumentos tuvo la idea de poner un

pivote vertical a la aguja que ya tenía encima la rosa, quedando como un compás seco; ésta es —tal vez— la fase más destacada de este proceso, porque aún faltaban siglos para que se enunciara la física del magnetismo y por esos entonces se aceptaba que la aguja apuntaba sobre un polo celestial, según lo había explicado un sabio de la época, Peter Peregrino, en 1269.

Como dato ilustrativo diremos que la palabra compás se usaba originalmente en las instrucciones de los derroteros para referirse al sentido de avance del circuito para ir de puerto en puerto alrededor del Mediterráneo, partiendo del Cabo de San Vicente, esto es, en el sentido de los punteros del reloj; a través del tiempo fue siendo gradualmente aceptada también para denominar al compás, reemplazando su nombre original de aguja magnética. Hay otras historias que hablan de su invención por los chinos, lo que por falta de pruebas concluyentes no ha sido considerado efectivo; el único relato conocido sobre esta materia son las descripciones de Marco Polo, que es posterior a los hechos que relatamos.

Este era el compás magnético, diseñado para su uso a bordo de los buques desde un poco antes del descubrimiento de América y en boga durante el siglo XVI; sin embargo aún no era muy popular, porque nada era más seguro que ver con los ojos y constatar con los sentidos el medio ambiente en que se navegaba.

El mundo siguió expandiéndose, dejando de estar circunscrito al Mediterráneo, pero a pesar de los viajes de Cristóbal Colón persistía la idea de que aquellos que pasaban al Atlántico cruzando el Estrecho de Gibraltar —que por muchos años fue llamado el Mar de la Obscuridad— tenían un límite, que eran las Islas Madeiras y las Azores; pero los antiguos relatos de los viajes de los vikingos hacia el norte —donde la aguja se desorientaba (posiblemente el Mar de Baffin, próximo al polo magnético) — y de los viajes de Ptolomeo a las Terras Australis, fueron los incentivos que impulsaron las primeras incursiones de los portugueses al África y las siguientes aventuras náuticas de los españoles y de los catalanes al Atlántico, que no aportaron mejoras sustanciales porque, en esencia, no había un análisis mayormente científico del problema integral.

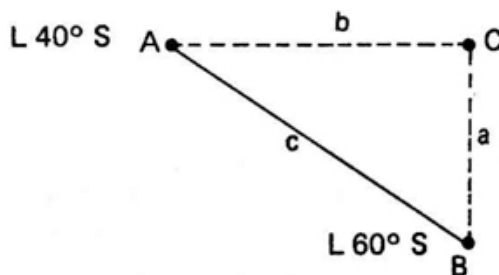
Fueron causas secundarias y circunstanciales las que produjeron adelantos. Entre ellas, los viajes por mar que hacían los nobles y los grandes señores de la época; embarcaban un numeroso séquito, en el cual se contaban matemáticos, astrólogos, magos y astrónomos, quienes con sus instrumentos trataban infructuosamente de continuar con sus mediciones; de todos modos, observaron y constataron una nueva dimensión del mundo mirado desde la inmensidad del océano, y aunque fue sólo un comienzo despertó inquietudes que se sumaron a necesidades de orden práctico que implicaban viajes más largos y con mayores distancias; determinar la posición de la nave ahora sí les interesaba, dada la extensión de estas nuevas áreas oceánicas que iban descubriendo.

Las cartas náuticas y el compás magnético

La primera mención de que se tiene memoria remonta al año 1270, cuando un rey francés —San Luis— navegaba en el Mediterráneo al mando de una Cruzada, siendo sorprendido por una tormenta que obligó a la flota a refugiarse en Bahía Cagliari: "...y los marinos le trajeron una carta para mostrarle el lugar donde se encontraba...". Es muy posible que fuera una carta portulano dibujada en cuero de oveja, que se usaban no tanto para navegar sino como ilustración general para explicación y mayor comprensión de los derroteros.

A partir de esa fecha hay antecedentes más concretos, tales como la carta marítima más antigua existente, la Carta Pisana, que contenía un sistema de trazados de rumbos para encontrar los vientos adecuados que se requerían en la navegación de un puerto a otro. También tenemos el Atlas Catalán (1375) hecho por los españoles, hábiles marinos que colonizaron Mayorca y Menorca, quitadas a los árabes en 1229. En Mayorca reprodujeron con gran exactitud la geografía de la isla, agregando una escala en millas elaborada por Abraham de Crequez, un judío catalán experto fabricante de mapas y de brújulas.

Aquí volvemos a los tiempos de Ptolomeo, que construyó su carta de proyección cónica; en realidad, era un mapa del mundo con un arco de meridiano igual a 500 estadios, empleando el Teorema de Pitágoras ($a^2 + b^2 = c^2$) para resolver la longitud en la ubicación de sus puntos. Este sabio ratiocinó que conociendo un punto de una ciudad A -en latitud 40° Sur- y la distancia a una ciudad B -en latitud 60° Sur- podría conocer también su longitud mediante la resolución de este triángulo, en que el lado b correspondía justamente a la longitud, como lo explica la figura. Sin que entremos en demasiadas lucubraciones, sólo diremos que es evidente la incompatibilidad de los conceptos al no aplicar las bases de la trigonometría esférica en una carta de proyección cónica, ciencia que aún estaba por inventarse.



Como pasaron siglos sumidos en este error, necesariamente los estudiosos entraban en contradicciones y preguntas sin respuestas que consumían su imaginación, tales como las inquietudes de un científico portugués, el Dr. Pedro Núñez, que en 1537 resumió en su obra *Tratado sobre certas duvidas da Navegação*; hoy nos parecen muy obvias, pero 400 años atrás —sin fundamentos matemáticos completos— puede haber sido legítimo no comprender que: "...¿Cómo es que en equinoccio el Sol es visto salir por el este por todo el mundo, cualquiera que sea su distancia al Ecuador, mientras que en los solsticios, gente que está a la misma distancia del Ecuador, pero en lugares opuestos, ve salir el Sol en un mismo día pero en cuartas diferentes del horizonte?

Hoy es claro el concepto de declinación norte y sur del Sol y de la eclíptica de la Tierra alrededor de este astro, pero antes, cuando sólo se veían efectos desconociendo los fundamentos de astronomía, era muy difícil que llegasen a explicárselo correctamente. Seguían las preguntas: ¿Cómo es que un buque de regreso desde un puerto a otro, navegando derecho y manteniendo su distancia al Ecuador, no esté haciendo la ruta más directa y más corta? Hoy también es clara la diferencia existente entre los círculos máximos, que es la distancia más corta, y las rutas loxodrómicas, que son helicoidales más largas, pero en ese entonces no había comprensión para explicarse la convergencia de los meridianos, cuando una y otra vez comprobaban intrigados que dos buques a distancia, que navegaban paralelamente al norte, terminaban por encontrarse en las altas latitudes, o alturas, como eran llamadas.

No obstante estas significativas lagunas de conocimientos sucedían otros hechos positivos aislados del quehacer náutico, que contribuían a que la astronomía tomara su carácter de tal. Las periódicas variaciones en altura y posición de los astros, en particular del Sol, habían llamado la atención de los sabios, que a la par de sus dudas habían constatado la existencia de un círculo máximo que llamaban Ecuador, sobre el cual el Sol iba variando en altura que declinaba (origen de su nombre) alternativamente hacia el norte y luego hacia el sur desde cualquiera que fuese el lugar de donde este astro fuese observado, calculando que la inclinación de esta eclíptica era de $23^{\circ} 30'$ (la exacta, como se sabe, es de $23^{\circ} 27'$); sobre esta base, otro estudioso —el judío catalán Abraham Zacut, de Salamanca— compiló en un Almanaque Perpetuo sus diferentes posiciones durante el recorrido de la Tierra por esta eclíptica, que permitían calcular la latitud de los puertos que iban conociendo, como —por ejemplo— lo hicieron los astrónomos de Don Pedro Alvarez Cabral, que descubrió Brasil el 22 de abril de 1500; ese día encontraron que la altura del Sol en su mayor elevación, tomada en tierra firme con astrolabio, era de 56° , que la sombra que producía era del norte y que de acuerdo al mencionado Almanaque se encontraban a 17° del equinoccio, es decir, una declinación 17° Sur, y por consiguiente la altura del Polo Antártico era de 17° , según el siguiente procedimiento del astrónomo y piloto Juan de Galilea:

Distancia al cenit del Sol: $90^{\circ} - 56 = 34^{\circ}$

Altura o latitud del lugar: $34^{\circ} - 17^{\circ}$ (declinación) = 17° Sur

Y mediante este procedimiento, que aun siendo muy rudimentario, tanto por las mediciones como por lo analítico, fueron teniendo una idea bastante cercana de dónde estaban, lo que sumado al conocimiento de las alturas del Sol o de otras estrellas y de los puertos ya conocidos, que eran sus destinos, el problema náutico consistía sólo en saber cuánto más había que navegar con un determinado viento para alcanzar uno, dos o tres grados más de altura del Sol, y cuánto más se habían desplazado al este o al oeste de ese rumbo debido a las bordadas, que era otra incógnita que faltaba por resolver.

Diremos solamente que de la experiencia de muchos viajes llegaron a elaborar tablas aproximadas de estos datos, como por ejemplo: con vientos del primer cuadrante la distancia en un día es de $17.5/6$ leguas y el apartamiento al este o al oeste es de $3.1/2$ leguas; con vientos del tercer cuadrante es de $21.1/3$ leguas y el apartamiento es de $11.5/6$ leguas al este o al oeste, etc. Aquí también debemos incluir los permanentes esfuerzos del rey de Portugal, don Enrique el Navegante, que siempre urgió a sus capitanes a navegar más y más al sur, para saber cuánto era lo navegado, verificado por la altura del Sol o de las estrellas, con respecto al puerto del que habían zarpado, es decir, aplicando un método de dirección y distancia.

Así, un poco a ciegas y otro poco con rasgos de fundamentos científicos, iban resolviendo el problema general de la navegación, pero faltaba mucho para que los marinos dejaran de pensar en los astrónomos como astrólogos, y aprendieran que la declinación era la latitud de los astros y la ascensión recta su equivalente de longitud.

Debemos comentar que en el siglo XVI el compás magnético ya era el instrumento más complejo y más conocido a bordo. Pronto se dieron cuenta de que no apuntaba exactamente al norte, pero no sabían la variación, a diferencia de que en tierra firme podían deducir la magnitud de la variación cuando el Sol o las estrellas estaban en el cenit y exactamente en el meridiano local, que sí conocían, y podían determinar cuántos puntos o grados estaba más a la izquierda o a la derecha fuera de este meridiano. Para los marinos éste era sólo un hecho, pero como un dato sin interés por investigar, a tal extremo que

algunos compases eran contruidos desviando la rosa de los vientos de las agujas una cantidad igual de grados a la variación magnética local.

A partir del primer viaje de Cristóbal Colón y su posterior descubrimiento de América se dio una nueva dimensión a este efecto, pues aun cuando ya tenían noción de que esta diferencia con el meridiano local era variable según el lugar (no se conocía la expresión "variación magnética"), los marinos también se dieron cuenta que navegando hacia el oeste y más hacia el sur esta diferencia cambiaba y, en consecuencia, "...Parecía que debía existir un lugar en la Tierra con un meridiano verdadero donde no había error..."; sobre esta base se fue creando un sistema de medición de longitudes, relacionándolas con las distancias y días de navegación hacia el oeste, mediciones empíricas con las que naturalmente nunca se llegó a ningún resultado concreto.

También se pensaba en el Ecuador como un círculo máximo, con sus paralelos de latitud norte y sur de 0° a 90° en los polos, y en su ansiedad por encontrar una solución a la longitud creían ver que un sistema equivalente de un meridiano verdadero similar podría servir para determinar la longitud, pero esta fórmula —como era de esperar— tampoco resultó. Pasaron muchos años para destruir esta falsa teoría; incluso habían tablas de longitud que eran inaplicables, porque en las largas navegaciones la estima que se llevaba era muy rudimentaria y por lo tanto inexacta, todo lo cual hacía que la longitud calculada no concordara con la realidad del puerto donde recalaban, salvo contadas casualidades, con la consiguiente incertidumbre al iniciar la próxima navegación.

En este mismo siglo XVI ocurrieron grandes hechos, siendo algunos de ellos aislados del devenir de la navegación, pese a ser importantes para la misma.

En 1508 la reina española Juana de Castilla contrató los servicios de Américo Vesputio para preparar y subir el nivel profesional de sus capitanes y pilotos que no tenían experiencia en el uso del astrolabio ni en los cálculos matemáticos. Esta idea de academia náutica, la primera del mundo, fue tomando forma y al correr de los años se convirtió en la famosa Casa de Contratación de Sevilla, que terminó por extender el campo de sus actividades a casi la gama completa del área marítima que en esa época estaba en boga. Le siguieron otros países en esta idea, tales como Portugal, Inglaterra y Francia, pero España fue la primera.

Largas reuniones y debates se habían llevado a cabo en el ambiente del quehacer náutico, en distintos países marítimos, llegando a la conclusión de que existían muchos aspectos de la navegación sobre los que ignoraban sus fundamentos, ya que de sus efectos no lograban arribar a sus causas. Por este camino, en la Inglaterra isabelina logró formarse una conjunción entre el estudioso, el piloto y el capitán o propietario de la nave. Juntos empezaron a analizar los problemas del mar, esta vez combinando la teoría con las necesidades prácticas de a bordo y a la luz de las experiencias de largos viajes a Guinea; la vuelta al mundo de Thomas Cavendish, que era la segunda después de Magallanes; las navegaciones por el mar Blanco para llegar a Moscú, etc., que constituían un aporte valioso de muchos antecedentes, además de que permitía ir preparando una nueva generación de marinos.

Así fue cómo los ingleses, en los viajes de Frobisher a Catay (China) y con el concurso del matemático y físico John Dee, se percataron y constataron lo erróneo que era el método existente para calcular las longitudes, concluyendo que necesariamente debía existir un polo magnético. Igualmente, que había un error en la forma de calcular la latitud por la Estrella Polar; que había un error, llamado de paralaje, en el uso de los instrumentos de medición de

los ángulos de los astros; que erróneamente se usaba trigonometría plana en lugar de trigonometría esférica, etc.

Como resumen de todas estas experiencias, un inglés —William Bowne— escribió el manual *Regiment of the Sea* (1574), que llegó a ser la biblia de los marinos durante muchos años. Aquí estaban, entre otras materias, las reglas para la observación del Sol y las equivalencias de medidas: 1 legua inglesa = 2.500 brazas; 1 milla = 6.120 pies; 1° de altura de Sol = $17.1/2$ leguas, etc.; nuevos conocimientos que iban desenmarañando la intrincada red de ignorancia en que vivían.

El propio Dr. Núñez, que años antes se formulara interrogantes, ahora, en su *Tratado de defensa de las cartas de marear*, llegó a demostrar por primera vez que en las cartas que se usaban, las planas, un rumbo de círculo máximo no era una línea recta, como debe ser en una superficie plana, lo que era un planteamiento correcto; en nuestros días decimos que en una carta las líneas rectas son loxodrómicas que en la esfera de la Tierra son espirales que llegan al Polo. Su demostración —que se aparta del objetivo del tema— era más bien complicada, basada en las primeras aplicaciones matemáticas para explicar el concepto de navegación por círculos máximos, que lamentablemente sólo fueron difundidas treinta años más tarde (1566).

Un marino de nombre Francisco Faleiro escribió en (1531) un libro con sus experiencias náuticas (*El arte de marear*). En él detallaba los muchos errores que tenía el sistema de derrota que en esa época se usaba y que eran causa directa de una mala estima, entre los cuales estaban los desvíos y la variación magnética, que a la fecha no eran bien conocidos; la falta de precisión de los instrumentos; las lecturas erróneas de los mismos por parte de los pilotos y el mal gobierno de los timoneles; además, introdujo por primera vez los términos de latitud y longitud, que hasta entonces eran de *northing* y de *easting*.

Cabe también destacar las contribuciones de otro marino español, Juan de Castro, quien como producto de las experiencias de sus viajes estableció en forma fehaciente que el fierro producía un desvío en los compases de los buques, constatados con los pesados y grandes cañones de a bordo, y que este error en el compás era diferente al de la variación magnética del lugar en que navegaban.

Todos estos valiosos aportes estuvieron dispersos por muchos años, pero es posible que dichos antecedentes hayan servido de base al estudioso y cartógrafo alemán Gerhard Mercator (Gerhard Kremer), quien en 1569 interpretó correctamente la forma esférica de la Tierra en una carta, matemáticamente en su función trigonométrica de proyección de la tangente, como tan obviamente la comprendemos hoy en día. Hay que recordar que las cartas de esa época no tenían trazados de líneas de latitud ni de longitud y sólo contaban con algunos rayados de las alturas o de los grados en que se encontraban distantes algunos puertos conocidos, ya sea al norte o al sur del Ecuador. De aquí que fuese por demás incomprensible e inaceptable para los marinos esta nueva carta de Mercator, en que los paralelos de latitud estaban desigualmente espaciados y que los meridianos estuviesen a igual distancia; que la carta tuviese escalas de medidas agrandadas mientras más se avanzaba al norte; que la distancia en latitud 60° valía la mitad de lo que era en el Ecuador. ¡Ningún marino cuerdo usaría una carta así, porque sencillamente todo esto era incorrecto y adulterado! Y todo hubiese sido tan sencillo si Mercator hubiese, además de sus leyendas en latín, escrito en el margen de la carta que la secante de $60^\circ = 2$; lo más trágico de todo era que los marinos seguían constatando, en las altas latitudes, que en sus cartas planas los rumbos loxodrómicos eran bastante inexactos y sus distancias mucho más largas.

La longitud

El meridiano de Alejandría establecido por Ptolomeo no dio resultados positivos, porque partía de 0° a 180° desde la tierra más al oeste conocida en esos entonces, que eran las Islas Canarias. Por otro lado, los árabes la contaban "desde donde el Sol emerge y donde está la Tierra de la Creación al Este del Paraíso", límite un tanto general que hacía que entre estos dos sistemas hubiesen grandes diferencias de hasta 18° .

Así pasaron más de mil años, hasta que un asunto circunstancial —como lo fue la mediación del Papa Alejandro VI para dirimir las disputas entre España y Portugal por la posesión de las nuevas tierras descubiertas (Tratado de Tordesillas)— determinó el uso de un meridiano 500 leguas al oeste de las Islas Azores, hecho que implicaba también el concepto de longitud, originando así una primera idea más acabada para esta incógnita de cómo resolver este problema en la mar, que ya tenía inquietos a los navegantes.

Debemos esclarecer que por aquella época los sabios tenían un método para calcular la longitud en tierra, porque sabían que una hora de tiempo era igual a 15° de arco terrestre, y al tomar la distancia angular entre la Luna y una estrella en el momento de su conjunción, en buenas cuentas obtenían una distancia entre el meridiano de un punto terrestre con el meridiano de otro punto terrestre, que si bien no era exacto —pues se hacía en cartas planas— era una buena referencia a falta de otra mejor.

La siguiente centuria, prolífica en el desarrollo de las matemáticas y la astronomía, afortunadamente dejó sentir su influencia en las cosas del mar, y así fue cómo el sabio Tycho Brahe se dio cuenta de las grandes inexactitudes de las tablas y calendarios en uso. Igualmente, otros se percataron de que la Luna se movía en una órbita de movimiento uniforme y que un error de medición de 5 minutos de arco en la lectura era equivalente a un error de $2,5^\circ$ en el cálculo de las longitudes; se confirmaron los varios errores ya mencionados que afectaban a las mediciones angulares, a las que se agregaron la corrección por semidiámetro y por altura del ojo; esta última tabulada. Otra contribución fue el cálculo y elaboración de las Tablas de Amplitudes del Sol; también en este siglo fue cuando Tycho Brahe volvió a hacer noticia en el mundo náutico al publicar un catálogo actualizado de todas las estrellas conocidas, y a bordo se comenzaron a usar las tablas de logaritmos de Napier para los cálculos de navegación.

El hecho más destacado —puede decirse con propiedad— pertenece al inglés John Tapp, que por primera vez estableció y determinó un triángulo náutico cuyos vértices eran el Polo, el buque y el astro, posiblemente muy rudimentariamente tomados pero que fueron la chispa creadora de la forma científica actual, pues también por primera vez se comenzó a hablar de apartamiento cuando se llegaba a la distancia verdadera, multiplicando la distancia por la secante de la latitud.

Hoy en día nuestros cálculos siguen dependiendo de esa idea, más clara por cierto, con un Polo celestial, una posición asumida por el observador y una posición geográfica del astro, en que los lados de este triángulo náutico corresponden a la distancia polar, la distancia cenital y la coaltitud del observador, con cuyos datos se resuelve la posición de la nave; la diferencia sólo está en que hemos dado un seguro y sólido fundamento matemático a la idea primaria, materializada en los procedimientos y fórmulas desarrolladas por el Teniente Arthur A. Ageton, de la Armada norteamericana, que son antiguos para los jóvenes de hoy que cuentan con mejores adelantos en esta materia.

Junto al desarrollo de la teoría hubo también un notable incremento y mejora en la calidad de los instrumentos náuticos, tales como los compases magnéticos —a los cuales se

les había introducido el uso del bronce y de la alidada acimutal— y del muy antiguo astrolabio, que luego pasó a ser cuadrante, dejando atrás a la antigua ballestilla con la que se medían inicialmente los ángulos de los astros, para seguir en el siglo XVIII con el octante por el método de reflexión y con un telescopio pequeño adosado, hasta que resultó más práctico el sextante que hoy todos conocemos.

Otros notables adelantos se lograron en el campo de la óptica, que permitieron la fabricación de telescopios de gran calidad, exactitud y magnitud, instrumento que en 1609 permitió al astrónomo Kepler demostrar la órbita elíptica de los planetas y las leyes que rigen nuestro sistema solar, que combinados con los descubrimientos de Isaac Newton con su Ley Universal de la Gravedad, a la postre permitieron a los estudiosos la reactualización de las tablas y data náutica con que se lograron otros adelantos en la navegación, como lo fue la sustitución del antiguo Kalendar del inglés Tapp por una publicación gala —el *Connaissances des Temps*, en 1678/79— editada por el Bureau des Longitudes Français, pudiendo decirse con propiedad que fue el primer almanaque náutico del mundo, que aún se sigue editando; como dato ilustrativo diremos que en ese entonces estaba referido al meridiano de París.

Finalmente, entre los adelantos más destacados de este siglo también debemos mencionar a un joven ingeniero francés, de profesión militar y apellido Vernier, que inventó un aparato para leer las mediciones angulares en forma más exacta y a la décima de la unidad, que fue la aplicación inicial en los sextantes y luego difundido en toda clase de instrumentos de medición que hoy conocemos. Más o menos por esos mismos años (1675) el inglés John Seller publicaba un Atlas (cinco volúmenes) de todas las cartas náuticas que a la fecha se habían elaborado, actualizando el original que un siglo antes había editado el holandés Lucas J. Wagenhaer.

En este proceso de desarrollo hubo varias sociedades de carácter científico y privado, formadas por sabios y estudiosos que sintieron la necesidad de agruparse y que también se dedicaron a incentivar el estudio de las ciencias náuticas. La primera de ellas fue la muy antigua English Royal Society (1662) y luego la Académie des Sciences Française (1666), cuyos objetivos más importantes eran la cosmografía, la elaboración de mejores cartas náuticas y la medición exacta de un grado de meridiano terrestre, además de la permanente búsqueda de la determinación de la longitud.

Entonces, sobre la base de estos antecedentes hasta aquí expuestos, se realizaron varios viajes de investigación pura que fueron notables por su acuciosidad, en los cuales destacan las experiencias de un oficial de la Armada francesa, Abbe Fournier, que era piloto e hidrógrafo; en su libro *Hidrografía* (1643) describe muy bien el estado de avances y dificultades de la navegación de la época, que condensaba en importantes conclusiones un registro diario de datos varios: las fechas, distancias en leguas, rumbos loxodrómicos, vientos con tipo e intensidad, latitud estimada, diferencias de longitudes, alturas observadas de los astros, variación del compás, etc. De su análisis se comprobó una vez más la existencia de rutas más cortas usando círculos máximos, además del hecho de contar con estimas más exactas que las llevadas hasta la fecha.

Otro marino estudioso fue el inglés Edmond Halley, que antes de ser nombrado director del Observatorio Real de Greenwich fue asignado al mando del HMS *Paramour* (1698) para hacer un largo viaje por el mundo, como producto del cual y de los exactos y acuciosos registros en la ruta, entre otros aspectos, logró establecer en detalle las variaciones del magnetismo terrestre en los diferentes lugares de la Tierra y con ello

determinar por primera vez una carta de líneas isogónicas, dando una nueva luz al problema de la longitud, que descartaba definitivamente los sistemas que hemos descrito.

Halley tenía además el mérito de haber estudiado en detalle las corrientes en el Canal de la Mancha, que eran desconocidas, y también estudió los vientos y su régimen de circulación de acuerdo a las estaciones, con observaciones tan útiles que —a no dudar— dos siglos más tarde fueron la base sólida en que se apoyó L. Maury —Teniente de la Armada de los Estados Unidos— para sus trabajos, logrando establecer relaciones de gran exactitud sobre la periodicidad y fuerza de los vientos reinantes, de acuerdo a las estaciones del año, en las diferentes rutas marítimas de los océanos del mundo, lo que en la época de la vela fue de suma utilidad y hoy no lo es menos.

No obstante los decididos adelantos que hemos mencionado, el problema integral de la longitud seguía sin ser resuelto de una forma adecuada a la naturaleza de orden práctico que los marinos requerían. Veamos porqué y dónde estaban estas dificultades.

A falta de otro sistema persistía el meridiano magnético verdadero, que tenía su origen de longitud = 0° , habiéndose establecido primeramente un meridiano en la Isla de Fez (Archipiélago de las Canarias) por el inglés J. Davis en 1594, que en 1676 fue determinado en Londres (Catedral de San Pablo) dada la preponderancia de los ingleses en las cosas del mar. Esta longitud iba aumentando hacia el oeste, con lo cual obtenían un dato de longitud que desalentadoramente muchas veces no concordaba con la realidad.

En aquellos tiempos del siglo XVII todavía se usaban a bordo los relojes de arena para las actividades diarias solamente y sin propósitos ni usos náuticos; se pensaba que la solución estaba en diseñar y construir una máquina mecánica que fuera capaz de contabilizar bien y exactamente el tiempo, que ya sabían era longitud.

Habían otros métodos para encontrar la longitud por observación de la Luna y su distancia a las estrellas fijas conocidas, pero estos procedimientos no eran aplicables a bordo; entre otras cosas, porque los instrumentos de medición eran muy grandes y poco manuales, tenían que ser hechos firmes al buque y con el balance introducían errores muy grandes; además eran carísimos como para ser comerciales, en tanto que el reloj de péndulo tampoco servía, por la misma razón de ser una plataforma inestable.

Aunque la ciencia de la relojería había avanzado, eran maquinarias muy rudimentarias que no tenían la debida exactitud, ya que se adelantaban o atrasaban casi 15 minutos diarios (3° de longitud), había que darles cuerda constantemente, tenían problemas de excesivas contracciones y dilataciones por los metales usados y no había lubricantes adecuados. En suma, seguían siendo maquinarias bastante imperfectas.

Sucedió por aquella época que una parte de la flota inglesa naufragó en las costas de las Islas de Scilly, hecho que produjo una gran consternación en el país; una de las conclusiones del sumario fue que el desastre se había producido por la ignorancia de los marinos para calcular la longitud, en vista de lo cual el Parlamento aprobó una ley que concedía un premio de 20 mil libras esterlinas "...a la persona o personas que descubra integralmente la longitud en la mar...".

La historia es larga y no exenta de emociones por las mismas alternativas que tuvo, pues hubo muchos interesados en el premio, principalmente los fabricantes de relojes. Diremos solamente que al final el total de la recompensa fue otorgado al inglés Jean Harrison, hijo de un carpintero, quien desde 1701 a 1704 efectuó diversas pruebas en la navegación de Portsmouth a Jamaica (Barbados) y vuelta a Inglaterra, a bordo de las fragatas *Deptford*, *Merlin* y *Tartar*; demostró que su cronómetro, el cuarto que presentaba, sólo

había tenido un error de 15 segundos en 156 días de navegación. Aquí, tanto el padre como el hijo habían dedicado una existencia completa al objetivo que finalmente consiguieron, y con ello solucionar el problema de la longitud.

A partir de 1767, fecha de la edición del primer almanaque náutico inglés, el meridiano 0° fue desplazado un poco más al este para pasar por el Royal Naval Observatory of Greenwich, dada la importancia que a sus trabajos le asignaban los cartógrafos y geógrafos de la época. Como dato ilustrativo cabe comentar que en 1810, Estados Unidos trató de implantar un meridiano 0° que pasaba por Washington, pero la idea no prosperó y desde 1884 el GMT ha sido aceptado oficialmente por todos los países del mundo.

Desde entonces este método de cálculo de la longitud fue tomando incremento, añadiéndose otras pruebas de su confiabilidad en el segundo viaje del capitán J. Cook, que se sumaron al testimonio de su exactitud. En 1825 era generalmente usado en la Armada inglesa y hacia 1880 estaba universalmente adoptado, en tanto que el procedimiento de las Lunares ya no se contemplaba.

Otros progresos en navegación

Así las cosas, parecía que en el siglo XVIII se había dado solución a todas las dificultades que la navegación presentaba, lo que en realidad distaba mucho de ser efectivo, y sin nadie proponérselo exactamente se pasó a una segunda fase de mejoramiento de lo ya existente, partiendo por las cartas, con instrumentos más precisos, con procedimientos analíticos más exactos, y la suma de éstos permitió acercarse cada vez más a la verdad. Uno de estos pioneros fue el matemático y marino norteamericano Nataniel Bowditch, que con su *New American Practical Navigator*, además de una acuciosa miscelánea del saber náutico, aportaba nuevos métodos para el cálculo de la longitud y un apreciable número de Tablas náuticas hasta hoy vigentes y por nosotros usadas y muy conocidas, como las Bowditch. Además, fue célebre su trabajo de traducción y mayores aportes de la Mecánica Celestial, en un lenguaje sencillo y de comprensión más general.

Debemos referirnos nuevamente al compás magnético, que por aquella época presentaba desvíos más grandes que en los tiempos pasados, sin que los marinos supieran el porqué, aun cuando vagamente sospechaban que se debía a la influencia de los nuevos cascos de hierro que ahora se utilizaban para construir los buques; habían ocurrido muchos naufragios con similares características, cuyas investigaciones no llegaban a causas concluyentes. En el orden práctico están los trabajos del capitán Mateo Flinders, comandante del HMS *Investigator*, durante un viaje a Australia en 1801; con sus experimentos demostró el efecto del hierro dulce debajo del compás, desvío que se podía contrarrestar con una barra de hierro (que hoy lleva su nombre) longitudinalmente colocada al lado opuesto, que corregía la componente vertical del magnetismo terrestre sin que el capitán Flinders supiera sus fundamentos, ya que la teoría de la física del magnetismo fue enunciada posteriormente por el sabio inglés Barlow, al descubrir el magnetismo permanente del buque en relación a la dirección de la proa durante su construcción y según el hemisferio.

Los años siguieron corriendo y en 1876 Sir Williams Thomson —fabricante de instrumentos— patentó en Inglaterra un último modelo de compás magnético; como adelantos incluía imanes correctores en la bitácora y esferas compensadoras para aminorar los errores cuadrantales; además, eran compases líquidos que mejoraban y disminuían la inestabilidad que producían las vibraciones excesivas de estos modernos buques a vapor,

que eran inevitables. Este era el resultado práctico de los nuevos antecedentes y aportes a la física del magnetismo: los trabajos de los profesores Poisson y Smith.

Otro instrumento que por esos años fue también perfeccionado era la corredera. Su historia se remonta al siglo XVI, cuando en los buques apareció un pequeño flotador y una línea de cabo que se echaba al mar para luego medir la cantidad de pies o de brazas que habían salido del carrete y así poder calcular la distancia que se había navegado y la velocidad del navío.

Desde entonces han sucedido muchos adelantos, pero el concepto sigue siendo el mismo: lo primero fue ponerle nudos a la cuerda para una mejor y más rápida contabilidad; luego se pensó en que era más fácil remolcarla todo el tiempo que sacarla para cada medición; más tarde, aplicando principios físicos, se le agregaron aspas o aletas para darle movimiento de rotación. La primera de este tipo, creada en forma de Y por Henry Saumarez, resultó un sistema muy pesado, debido a lo cual tenía una fricción excesiva y sus lecturas eran inexactas; en 1747 se inventó un flotador cónico con aletas que prevaleció por muchos años, y cada vez se mejoraban los detalles para darle más eficiencia, marcando pauta un modelo patentado en 1846 por el inglés Thomas Walker, que era también un flotador-rotor remolcado y con un registrador de millas navegadas instalado a popa. Años después, en 1902, se le colocó un repetidor eléctrico en el puente, modelo y sistema que aún prevalece en los buques que lo emplean como sustituto de elementos más complicados.

Hoy es común que hablemos de la Pittometer para referirnos a la corredera de fondo. Su originador fue el francés Henri Pitot, que pensó y diseñó un tubo en forma de L adosado al casco de la nave para medir el flujo o la presión de la corriente de agua que generaba el movimiento del buque. La idea no resultó en ese tiempo pero volvió a tener vigencia en 1849, en que a través de diversos ensayos fue siendo gradualmente perfeccionada bajo el mismo principio original de Pitot, hasta llegar a ser un instrumento válido en precisión durante la primera mitad del presente siglo, tal como la Forbes con un rotor sumergido, la Chernikeef rusa y la electromagnética, que han demostrado sus respectivos rangos de calidad.

Una creación mecánica que fue importante en la navegación la constituyó el girocompás, que además de su uso para la indicación del rumbo y gobierno del buque tuvo múltiples aplicaciones en el campo militar. El giróscopo había sido inventado a comienzos del siglo XIX por Edward Sang, pero fue el físico francés León Foucault quien le dio nombre y lo usó para demostrar la rotación de la Tierra, en 1852. Los primeros usos náuticos se hicieron presente en 1864 con los experimentos de la Armada francesa, en los que el giróscopo se usó apuntado a una estrella y así se obtuvo el acimut verdadero para verificar el desvío de los compases magnéticos.

Años más tarde el norteamericano Elmer A. Sperry y el alemán Anschütz Kaempfer, casi paralela y simultáneamente, inventaron el girocompás; durante sus primeros experimentos se dieron cuenta que si se podía suspender la caja del giróscopo dejándola libre en el aire como en estado pendular, ejerciendo la Tierra su fuerza de gravedad, dicho giróscopo debería preceder hacia el meridiano en cuanto se inclinara por efecto de la rotación de la Tierra y en virtud de su cualidad de rigidez. Este fue el comienzo de un instrumento más estable y más útil para gobernar los buques, que muy pronto llegó a ser parte del equipo de navegación, inicialmente en los navíos de guerra y luego en los buques mercantes. Así fue cómo el compás magnético, cuyo uso prevaleció por más de 500 años, fue sustituido —aunque no reemplazado ni olvidado— por este moderno instrumento, cuya extraordinaria precisión ha servido también para otros múltiples usos navales.

Marcq Saint-Hilaire

A comienzos del siglo XIX, encontrar la posición del buque en la mar ya no era un problema sin solución, pero evidentemente había un solo sistema en vigencia que satisfacía las condiciones de la época. Sin embargo, derivado también de situaciones circunstanciales, se creó otro método cuando el capitán norteamericano T. H. Summer, que en 1843 navegaba de Charleston a Greenock, al recalar sobre las costas de Irlanda y no teniendo certeza de su estima tomó sucesivamente tres alturas de sol con tres posiciones diferentes, infiriendo que no eran exactas pese a que estaban todas en una línea de demarcación, y dedujo que el buque debía encontrarse en algún punto de la línea de posiciones que tenía esa dirección. Sobre esta base hizo un acabado estudio que concluyó en este método alternativo para usar cuando por razones meteorológicas no se puede contar con las adecuadas observaciones de astros, que hoy en día tienen su aplicación en la recta A.M. y meridiana.

Treinta años más tarde un capitán de la Armada francesa, Adolphe Laurent Anatole Marcq de Blonde de Saint-Hilaire, inventó un nuevo método de calcular la posición del buque en la mar por observación de los astros celestes, tomando en cuenta la distancia del Sol al cenit de su posición estimada hasta el instante en que se tomaba la altura, la cual restaba de 90° daba también la distancia al cenit en ese instante.

Pensó que esta distancia al cenit era la misma distancia que en la superficie de la Tierra debía haber entre el lugar de la posición asumida por el observador y el punto real de la observación inmediatamente bajo el Sol en ese instante, que era la posición geográfica del astro; si esa distancia al cenit salía mayor o menor que la calculada, el buque necesariamente debía estar más lejos o más cerca del Sol que la posición estimada por la diferencia entre las dos. Esta cantidad, que hoy conocemos como intercepto, combinada con dos o tres observaciones similares con sus respectivos acimutes, le hizo concluir que necesariamente daría un punto donde estas líneas de posición se cortaban, y ese punto era el de la posición presente del buque. Este relato no pretende ser en modo alguno una clase de navegación y sólo ha sido descrito por el interés que merece lo ingenioso de las deducciones de este ilustre marino francés, que llegaron a constituir un método y procedimiento de cálculo náutico que sigue manteniendo su vigencia dada la exactitud de su aplicación.

El siglo veinte

La navegación fue mejorando —como hemos podido apreciar— en un proceso lentísimo, pues del remo se pasó a la vela y de ésta a la hélice al través de muchos siglos; como factor de energía se pasó de la palanca de la fuerza humana al viento y de éste al vapor y a los gases de combustión interna, y ahora a la propulsión nuclear. Pero esta centuria que estamos viviendo ha tenido un desarrollo tecnológico muy veloz, logarítmico, en beneficio de la rapidez, la seguridad y la eficiencia, de modo que en tres o cuatro décadas prácticamente su proyección ha sido tan notable que ha revolucionado los métodos y conceptos tradicionalmente usados, como veremos más adelante. Esta experiencia y conocimientos tan duramente adquiridos en el transcurso de milenios, sirvió y fue puesta a disposición de otras actividades y otras ciencias, como la aviación y la era espacial de la cohetaría y los satélites artificiales, que encontraron que el camino estaba hecho porque la

teoría estaba estudiada y comprobada y servía para los propósitos de la aeronavegación y la navegación espacial; no había más que aplicarla y ponerla en práctica.

La Gran Guerra, como se llamó a la primera conflagración mundial, no hizo más que perfeccionar los mecanismos y los sistemas ya conocidos, y en esencia todo continuó más o menos igual en la navegación. Vino la Segunda Guerra Mundial, en que —a diferencia de la anterior— el esfuerzo militar por conseguir ventajas en el campo táctico llevó a ambos bandos en conflicto al mundo de la electricidad y de la electrónica, de cuyas aplicaciones más inmediatas surgieron nuevos instrumentos, sistemas y procedimientos que, como hemos dicho, transformaron la navegación convencional a que se estaba acostumbrado.

De todos estos ingenios que nos son conocidos, posiblemente ha sido el radar el que más ha contribuido a mejorar las performances de la navegación. Las primeras experiencias, basadas en el principio de reflexión de la energía de las ondas radioeléctricas, se iniciaron por los años veinte, y el primer diseño de un equipo marino fue probado en 1937 a bordo del USS *Leary* de la Armada norteamericana; y luego, en 1939, en el HMS *Rodney* y HMS *Sheffield* de la Real Armada inglesa.

Desde esa fecha este instrumento fue en franco progreso con modelos cada vez más complejos y más útiles, lo que para la navegación abrió un cúmulo de posibilidades operativas que antes estaban negadas a los hombres de mar, por diestros y experimentados que ellos fueran. Su capacidad de representar los cuerpos sólidos a distancia y en todo tiempo, fuesen estos buques, aviones o los contornos de la costa, hizo posible desplazarse con seguridad, cualquiera que fuese la geografía del área, con un mejor aprovechamiento de la velocidad y sin las naturales dificultades que antes presentaban las alternativas del día y de la noche, los malos tiempos con visibilidad reducida y nieblas espesas. También la incertidumbre de una estima y de las derivas no corregidas y todos los factores que influyen un desplazamiento, desaparecieron con la tranquilizadora visión de una pantalla de un tubo de rayos catódicos que ha permitido el control inmediato de todos estos parámetros otrora devastadores.

Al referirnos a su aplicación en el campo militar, que ha sido mucho más diversificada y útil para los fines guerreros, podríamos resumirla en un solo concepto: el empleo del radar ha permitido extender la vigilancia sobre los objetivos mucho más allá de las capacidades de los sentidos humanos o de cualquier otro sistema que a esa fecha se contaba. Con ello se logró una mayor rapidez para tomar decisiones y un control más efectivo de las acciones a ejecutar, con un rendimiento más alto en el empleo de las armas. En un plano de uso más general, el radar ha logrado dar seguridad como elemento de control de entrada y salida en los grandes puertos, evitando así las temidas colisiones donde la afluencia de buques rebasó los métodos de control convencional, por lo que fue necesaria una organización y procedimientos más complejos tal vez, pero que aseguraron el ordenamiento requerido.

Y en este constante desarrollo aparecieron los submarinos nucleares, trayendo consigo otros problemas que hicieron inaplicables los métodos ortodoxos de navegación empleados por los buques de superficie, que fueron resueltos con el sistema de navegación inercial, consistente en dirigir un buque desde un punto a otro basado en sensores de aceleración, los acelerómetros, en una dirección espacial conocida y con la ayuda de instrumentos que mecanizan las leyes del movimiento —de Isaac Newton— y la aceleración integrada, para determinar su posición y la velocidad; esto es, al considerar que la aceleración en dos direcciones puede ser medida, entonces las velocidades y las distancias pueden ser calculadas y con ello encontrar la posición final, lo que en buenas cuentas viene a ser como una navegación por estima pero muy, muy exacta, por el uso de los acelerómetros. Esta

deficiencia tan escueta es, en cierto modo, contradictoria con la verdadera obra de ingeniería de instrumentos y sistemas que es el equipo original, que primeramente fue instalado en los submarinos USS *Nautilus* y USS *Skate*, en sus exitosas navegaciones bajo el casquete polar en 1967.

Otros sistemas para posicionar un buque en la mar aparecieron por 1957; uno de esos fue el Loran, que requería de una serie de estaciones transmisoras desde tierra y funcionaba por diferencias de tiempos en las emisiones de pulsos radioeléctricos, que luego se resuelven en distancia y demarcación en cartas de navegación especialmente diseñadas para estos propósitos. Sistema que tuvo gran aceptación comercial y fue adoptado por los buques mercantes en general, aun cuando su uso está localizado para algunas áreas geográficas solamente. Siguiendo por este camino debemos también mencionar a un similar del Loran, nacido una década más tarde, que es el sistema Omega, basado más o menos en los mismos principios pero que usa para sus transmisiones ondas radioeléctricas de muy baja frecuencia (VLF) que tienen la propiedad de seguir la curvatura de la Tierra, además de una buena recepción bajo el agua, incluso más allá de los veinte metros de profundidad, valiosa característica que si bien sirve a los buques de superficie es particularmente útil a los submarinos, que pueden saber su posición sin necesidad de aflorar a la superficie.

El lanzamiento de un satélite artificial ruso en 1957 abrió otro cúmulo de posibilidades para los marinos contemporáneos, porque luego se llegó a la conclusión de que si dicho artefacto estaba siendo controlado desde la Tierra a cada minuto de su trayectoria, órbita terrestre que era previamente conocida, bien se podía hacer a la inversa, navegar sobre la superficie de los océanos del globo terráqueo y hacer que el satélite diese la posición de los buques. Sobre esta idea se diseñó un sistema de 4 ó 5 estaciones ubicadas en el espacio estelar y a unas 600 millas de altura, que permanentemente están circulando la Tierra cada 107 minutos aproximadamente, en órbitas conocidas que pasan por los polos, las cuales van formando una especie de red alrededor del orbe, que es estacionaria con relación al eje norte-sur de éste.

Dicho satélite artificial, en cada pasada efectiva por la Tierra, esto es, cuando su elevación es entre 6.5° a 70° del horizonte, permanece dentro del alcance del receptor del buque alrededor de 10 a 15 minutos de tiempo horario y en este período recorre aproximadamente unas 3.000 millas transmitiendo su posición constantemente, puntos de referencia de la órbita del satélite que pueden ser calculados exactamente en distancia y demarcación desde el buque, midiendo el aparente cambio en la frecuencia irradiada del fenómeno que conocemos como efecto Doppler, al variar la señal cuando el satélite se aproxima, pasa y se aleja, que combinada con el movimiento del buque en igual período da finalmente la posición inmediata de éste en la mar.

Este es el mundo de hoy con sus muchos adelantos, que hacen las tareas náuticas más fáciles. Tomemos, por ejemplo, a un buque cualquiera después de una larga travesía por el Atlántico, que en realidad ha sido corta a una buena velocidad media de 19 nudos, poco menos de diez días al compararla con los tres meses que duró el primer viaje de Colón. Un trabajo placentero, casi rutinario, porque —entre otras cosas— el tiempo meteorológico ha sido previsto mediante cartas sinópticas transmitidas diariamente por facsímil, además de otras fotografías del estado presente de las nubosidades transmitidas vía satélite, elementos de juicio que han permitido hacer las modificaciones adecuadas a la ruta que se tenía programada, y así evitar los malos tiempos y la disminución en el avance.

Su situación y posición diaria, obtenida periódicamente del equipo de navegación por satélite, ha sido tan exacta que no hay error posible que no sean unas cuantas yardas,

absorbidas en el grosor de la punta del lápiz que se usa en la carta. El sextante sólo ha sido usado por el Guardiamarina que debe cumplir requisitos para su próximo ascenso. El buque ha dado su arribo para las 07.00 horas y el oficial hace una verificación de las posiciones; la última —de 57 minutos atrás, entregada por el equipo con latitud y longitud a la centésima de minuto— le servirá, pues en este momento el instrumento avisa "No hay convergencia", diciendo que la elevación de la antena está fuera del rango de 6.5° - 70° y por lo tanto la recepción de las señales no es adecuada, pero aun así tiene todos los datos a su alcance, porque el equipo Navydine conectado al giro y a la corredera le indican, además, la dirección y la magnitud del abatimiento que el buque ha experimentado, el rumbo y la velocidad efectiva que éste lleva y el rumbo loxodrónico y por círculo máximo que el navío deberá llevar hasta el próximo punto de control.

Todo al instante, con precisión y sin pérdidas de tiempo; para los pequeños cálculos, el oficial estudia la carta y luego toma una calculadora portátil, da entrada a unos cuantos datos referentes a los puntos donde se encuentra y donde quiere llegar, introduce un factor de tiempo y obtiene el resultado: va adelantado 49 minutos; mejor reducir ahora un poco el andar. El capitán mira todo este procedimiento de trabajo con una mezcla de contenida molestia y de evidencia en la aceptación de los hechos, porque no deja de pensar en sus no tan antiguos métodos de trabajo, con tablas de distancias, los alessios al amanecer, la búsqueda de los resplandores en el cielo como indicación de las proximidades del puerto, el análisis general de la estima, etc... pero ahora todo es por computadoras, cuyos fríos dígitos parecieran destrozar una antigua poesía. ¡Esto no es ser romántico sin sentido, pero algo se perdió; esa es la sensación que tiene y se guarda mucho de hacer algún comentario, porque además de saber que todo está correctamente ejecutado, él mismo tiene muy guardada en su camarote una de aquellas primicias de calculadoras náuticas, especiales para marinos, que ha poco tiempo le fuera obsequiada!

Este es el mundo de hoy con los mismos problemas de antaño, pero resueltos de una manera muy diferente que de hecho es más rápida, más eficiente y más segura, en que por el acicate de nuestras necesidades y ambiciones hemos logrado una alta tecnología que a su vez nos ha llevado a un estado de excelencia de la automatización en busca del ahorro del esfuerzo y de la fuerza, reemplazando la máquina al individuo en tareas y trabajos que siempre fueron manuales, de forma tal que este arte de la navegación de otrora para conducir una nave de un punto a otro por los océanos del mundo ha llegado a convertirse en una ciencia exacta, segura y efectiva. Ella es protagonizada por nuestro actor principal, el oficial, un joven competente en su trabajo, que se desenvuelve con facilidad entre las computadoras y equipos electrónicos inherentes a la navegación, que le proporcionan datos precisos; no está acostumbrado a otra cosa para resolver sus problemas.

Este marino como controlador superior de los elementos puestos a su disposición siempre persistirá. Deseamos y queremos que cada día sea mejor y más preparado; casi estamos seguros de ello, pues las computadoras no tienen coraje ni valentía, expresión que leí en alguna parte y da —en cierto modo— la clave para dar un mentís a un experimento de un buque no tripulado que hace unos años se llevó a cabo por los rusos.

Cada día se construyen naves más grandes, más complejas, más veloces y más resistentes, con las que paralelamente vamos arrojando mayores dificultades que antes eran insalvables. En esta peligrosa competencia con la Naturaleza, ésta pareciera a veces empeñarse en un propósito de demostrar lo inconmensurable de sus fuerzas, cuando Neptuno —rey de los mares— desata la furia de sus tormentas, Eolo —el dios soplador— embravece el mar con sus vientos y Caribdis —la diosa de las aguas— expulsa a las naves con sus corrientes, y las sirenas —con sus mágicos cantos— atraen a los navíos a las

rompientes, mitología de los griegos que vuelve a hacerse presente en pleno siglo veinte, cuando los mares del mundo son surcados a lo ancho y a lo alto por miles de naves de todas las banderas, con marinos seguros de sus acabados conocimientos y al amparo de ingeniosos mecanismos, recordándonos cuan válidos siguen siendo los mismos preceptos de esos nautas milenarios que iniciaron esta maravillosa aventura que es la navegación, rastreando incesantemente el horizonte, el mar y los cielos para compenetrarse de este adversario implacable, violento y duro que es el océano indomable, al que sigue enfrentándole el hombre de mar, también indomable y que nunca cederá en sus propósitos y ambiciones.

BIBLIOGRAFIA

- *The Haven Finding Art.*, E.G.R. Taylor, Hollis & Carter, London.
- *The American Practical Navigator*, U.S.N.
- *Manual de Navegación*, I.H.A., Pub. 3030.

