

EL ARTE DE LA NAVEGACIÓN EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

MANUEL A. SELLÉS
UNED, Madrid

«¿Qué cosa tan ardua como dar guía a una nao engolfada, donde sólo agua y cielo verse puede?» (Martín Cortés, *Breve compendio de la esfera y del arte de navegar*, 1551, fº. IIIv).

El arte de navegar del siglo XVI constituyó la mejor de las respuestas posibles a un problema. O, mejor dicho, a un desafío. Exploradas las costas africanas en el siglo anterior, rodeado el cabo de Buena Esperanza hasta alcanzar las Indias Orientales, y descubierta –o encontrado– el nuevo continente americano, para Portugal y Castilla se abría la posibilidad de erigir dos grandes imperios coloniales. Pero esta posibilidad sólo podría concretarse si los viajes de descubrimiento y exploración daban paso a rutas regulares y seguras que garantizaran, por primera vez a una escala prácticamente mundial, la comunicación y el comercio. Considérese que un viaje de ida y vuelta entre los dos extremos del imperio español, Sevilla y Manila, suponía, de media, unos cinco años.

Según Pedro de Medina en su *Regimiento de navegación* (Sevilla, 1563), el arte de navegar estaba constituido por el conjunto de «reglas, declaraciones: y verdaderos entendimientos que para bien navegar se deben saber» [fº. IIIr].



Se trataba, pues, de lo que hoy denominaríamos un conocimiento, o desempeño, técnico. Pero las técnicas desarrolladas en y para las navegaciones por el Mediterráneo y el Atlántico norte no bastaban en los nuevos escenarios. Si antes no solían pasar muchos días sin que el marino pudiese avistar una costa conocida, asegurándose así de su posición, ahora las cosas eran muy distintas. Los nuevos trayectos suponían semanas, aun meses, fuera de la vista de la tierra. En tales intervalos, la estima acumulaba tan graves errores que la tornaban mucho más que incierta.

En estas circunstancias, el único recurso posible era la consulta del firmamento. Nacía así la navegación astronómica, al recurrirse a las medidas de posición de los astros para la determinación de la posición del barco. En concreto, de su latitud. La culminación de esta navegación astronómica llegaría dos siglos después, a mediados del mil setecientos, con la determinación de la longitud. De este modo, la gran innovación del arte de navegar fue el recurso a conocimientos procedentes de la astronomía y de la geografía, adaptando éstos, junto con los instrumentos necesarios para su aplicación, a las condiciones específicas de los viajes oceánicos. La navegación del siglo XVI fue, así, una navegación a estima corregida por la latitud.

Hay que insistir, finalmente, en que no fue el arte de navegar, así configurado, el que permitió los viajes de descubrimiento. Estos se realizaron, en buena medida, con los métodos tradicionales si bien, andando el tiempo, se beneficiaron cada vez más de las nuevas técnicas. Se puede considerar que la incursión portuguesa por las costas africanas se abrió con la conquista de Ceuta en 1415; sin embargo, los primeros testimonios de observaciones del firmamento encaminadas a la determinación de la latitud datan, más o menos, del último cuarto del siglo. Y los manuales de navegación impresos más antiguos que se conocen datan de los primeros años del siglo XVI. La culminación se alcanzaría medio siglo más tarde, con los tratados de Pedro Nunes, Pedro de Medina y Martín Cortés.

En lo que sigue, tras comentar las características principales de la navegación a estima, pasaré a exponer los nuevos métodos e instrumentos adaptados para la determinación de la latitud, así como los problemas que supuso la introducción de esta coordenada en unas cartas diseñadas para una navegación basada en el rumbo y la distancia. Unido a un tratado elemental de la esfera, o descripción de los principales círculos y movimientos celestes, el conjunto representa, más o menos, los contenidos de cualquier tratado de navegación de la época.



1. LA NAVEGACIÓN A ESTIMA: RUMBO Y DISTANCIA

La navegación a estima o, más concretamente, la navegación con determinación del rumbo y estimación de la distancia recorrida por él, surgió en el Mediterráneo tras la introducción y difusión de la aguja náutica. Los primeros testimonios de su empleo, en una forma primitiva –una aguja imantada o un montoncito alargado de polvo de piedra imán dispuestos sobre un flotador en una vasija con agua– datan del siglo XII, y apuntan a un empleo más bien ocasional. En el siglo XIII, o a principios del XIV, la aguja imantada cobró una forma más moderna. Se pegó por debajo de un disco que llevaba grabada una rosa de los vientos. En ésta se acabaron por distinguir 32 direcciones equidistantes, o «vientos», de modo que el círculo del horizonte se dividió en porciones de $11,25^\circ$, pudiéndose, por estimación, determinar la mitad de este arco.

Así constituida, la aguja o, como se la denominaría más tarde, compás náutico, de poco servía sin una carta que se correspondiese con las direcciones que marcaba, la cual se debió desarrollar a la par. Ésta es la llamada «carta portulano». La más antigua que se conserva data del último cuarto del siglo XIII. Se trata de cartas del Mediterráneo en donde se registran los perfiles costeros, y que se hallan entrecruzadas por una urdimbre de líneas que parten de dos o más puntos nodales, espaciadas como los vientos de la rosa.

No se sabe bien cómo surgieron estas cartas portulano del Mediterráneo. Por lo general se admite una génesis basada en la experiencia, quizás también una conjunción o yuxtaposición de datos o cartas de regiones parciales. El caso es que estas líneas rectas representaban las líneas de rumbo, y conservaban las distancias, para cuya estimación las cartas estaban dotadas de escalas cuyas mediciones se podían trasladar con un compás o divisor. Su empleo era sencillo. Se buscaba la línea recta que uniese los puertos de partida y de arribada y, caso de no coincidir ésta con una de las líneas de rumbo trazadas en la carta, se buscaba la línea paralela más próxima, o la más cercana a una paralela. Ésta marcaba el rumbo a seguir, guiándose por la aguja.

Naturalmente, los vientos no siempre son favorables para seguir en línea recta el rumbo deseado. Por ello el barco, en realidad, trazaba una línea quebrada, cruzando y recruzando el rumbo deseado a distintos intervalos. Para saber lo que el buque se había separado de él, la distancia y el rumbo a seguir para retomarlo, y el camino realmente avanzado en la dirección deseada, era preciso recurrir a la resolución de triángulos rectángulos. Ésta, hoy día trivial gracias a la trigonometría y al álgebra, se facilitaba entonces mediante tablas o



construcciones gráficas. El camino recorrido por cada uno de estos rumbos se estimaba literalmente a ojo, con la ayuda de una ampolleta o reloj de arena que medía el tiempo. Es decir, que la determinación de la velocidad del barco por un rumbo dado dependía exclusivamente de la experiencia del piloto. Naturalmente esta estimación era incierta, pero el error acumulado tras los pocos días de navegación que transcurrían fuera de la vista de tierra no constituía un obstáculo grave. El verdadero peligro de la estima era topar inesperadamente con la tierra por la noche o en un día sin visibilidad, y para ello se tomaban las debidas precauciones. Pero, ¿qué hacer cuando en los dilatados periplos transatlánticos la estima podía arrojar fácilmente errores de varios centenares de kilómetros?

2. LA «VOLTA PELO LONGO» Y EL RECURSO A LA LATITUD

La expansión portuguesa por las costas africanas llevó casi un siglo. Iniciada, como se dijo, con la conquista de Ceuta, prosiguió hacia el sur por el litoral. En 1434 Gil Eanes dobló el cabo Bojador, y no fue sino hasta 1488 cuando Bartolomé Díaz alcanzó el de Buena Esperanza. El resto de la ruta a las especias fue más rápido: Vasco de Gama llegó a las Indias Orientales en 1497, cinco años después del primer viaje de Colón.

El viaje de ida no suponía –peligros aparte– grandes dificultades técnicas. La navegación hacia el sur se hacía a pocas millas de la costa y se veía favorecida por vientos y corrientes. El problema estaba en el viaje de retorno, donde esos mismos vientos y corrientes se oponían a la andadura del barco. Para evitarlos y encontrar condiciones más favorables era preciso «engolfarse», es decir, adentrarse en el Atlántico fuera de la vista de la costa, y esto durante bastantes días de navegación, dependiendo naturalmente del punto de partida. A tal viaje se le denominó «la volta». Se trataba de navegar de sur a norte por el meridiano hasta alcanzar la altura de las Azores, para pasar desde allí a Lisboa.

2.1. El método de la altura-distancia

La observación de la altura del polo celeste sobre el horizonte –que, como es sabido, es igual a la latitud del lugar en que se observa– está documentada a mediados del siglo XV. En una primera etapa, se empleó un método conocido por los historiadores como el de la «altura-distancia». Este método no implicaba una determinación directa de la latitud en que se encontraba el buque; en su lugar, la diferencia angular entre la altura del polo observada en un lugar



1. Grabado que representa a Ptolomeo observando con un cuadrante, guiado por la Astronomía. De Jorge Reish, *Margarita filosofica*, Fribourg, 1503.

dado y su altura en Lisboa se convertía en la distancia que las separaba. Para ello se usó un instrumento corriente en astronomía y agrimensura, el cuadrante, simplificándolo de todos sus usos excepto del fundamental de la medida de arcos. Consistía en un cuarto de círculo, suspendido por su vértice y provisto de una plomada. A través de dos pínulas se observaba la Polar —o quizás también alguna otra estrella conocida—, y el hilo de la plomada, proyectado sobre el cuadrante, marcaba su altura sobre el horizonte. Ésta se comparaba con las marcaciones hechas en el limbo, y correspondientes a las alturas del mismo astro en las latitudes de distintos lugares. Se trataba, pues, de una medida angular, pero no efectuada sobre una escala graduada. Ésta vendría después.

El método no podía ser muy exacto pues, como es sabido, la posición de la estrella Polar no coincide exactamente con la del Polo celeste. En 1500 estaba apartada de él en la cantidad de $3,42^\circ$. Siendo el grado de meridiano de algo más de 110 km., en las condiciones más desfavorables se podía llegar a cometer un error de cerca de 400 km., y eso sin contar con los errores propios



de las marcaciones efectuadas sobre el instrumento y los provocados por las condiciones de la observación misma. Pues en el mar el observador participaba de los movimientos del barco, mientras que tenía que asir el instrumento para girarlo y tender, a través de las pínulas, la visual a la estrella.

De modo que el procedimiento debió ser muy poco preciso y, por otra parte, por decirlo así, tampoco estaba bien informado. Los astrólogos y astrónomos conocían bien la falta de concordancia de la Polar con el polo celeste, y así el procedimiento se corrigió dando lugar al que dentro del arte de navegar se conoció como el «Regimiento del norte».

2.2. El Regimiento del Norte y la Cruz del Sur

En el Regimiento del Norte se daban reglas para corregir la diferencia angular de la estrella Polar respecto del polo. Debido a esta diferencia, la Polar describe una pequeña circunferencia en torno al polo. Si, en el momento de la observación, se puede determinar cuál es su posición sobre esta circunferencia, entonces se puede recurrir a unas tablas para buscar en ellas la corrección a aplicar. Los marinos portugueses escogieron ocho posiciones igualmente espaciadas, correspondientes a los ocho rumbos o vientos principales de la rosa.

El valor de la corrección máxima que se aplicaba era de $3^{\circ}30'$ (aditivos en la culminación inferior, sustractivos en la superior), y proporcionalmente menores en los otros rumbos. Para determinar su posición en el momento de la observación se recurrió a la posición de dos estrellas en la constelación de la Osa Menor, en donde se halla la Polar, llamadas entonces «guardas», α y β *Ursae Minoris*. También se imaginó una figura humana, conocida como el «hombre del polo», de frente o de espaldas. El norte vendría representado por la cabeza, el sur por los pies y, en el caso de hallarse de frente, el nordeste y el este, respectivamente, por el hombro y el brazo izquierdos, etc.

De hecho, debido al movimiento del polo celeste, la distancia angular de la Polar al polo ha ido disminuyendo con el tiempo; en 1600 este valor era de $2^{\circ}54'$. En consecuencia, algunos tratados recogieron hacia esta época valores menores de los $3^{\circ}30'$ con los que inicialmente se aplicó la corrección.

El Regimiento del Norte se podía aplicar siempre y cuando la Polar estuviese visible a una cierta altura sobre el horizonte. Pero tras cruzar el ecuador pronto quedaba por debajo del mismo. Así que al cruzar la línea hubo de buscarse un procedimiento análogo, contando con los astros del hemisferio meridional. La constelación escogida fue la Cruz del Sur. Ésta no se hallaba próxi-



ma al polo sur, pero tenía la peculiaridad de que estaba compuesta por cuatro estrellas en la posición de los extremos de los brazos de una cruz, de modo tal que las que se hallaban en los extremos del brazo, digamos, vertical, cruzaban el meridiano aproximadamente a la vez. En tal posición, que se podía verificar con el hilo de una plomada, la distancia polar de la estrella superior, la más brillante de la constelación, era de aproximadamente 30° , que era el valor que se sumaba a la altura observada: adoptando este valor se cometía, hacia 1500, un error de alrededor de $1/3$ de grado. La regla para obtener la latitud, el «Regimiento del Crucero del Sur», se incorporó a los tratados de navegación a mediados del siglo XVI.

2.3. El Regimiento del Sol

Del mismo modo que la latitud se podía determinar por el tránsito meridiano de una estrella, por el día se podía determinar por el tránsito por el meridiano del Sol. Aunque con una complicación adicional: que, a diferencia de lo que sucede en el caso de las estrellas, la declinación del Sol, es decir, su distancia angular al ecuador celeste, varía de día en día.

La determinación de la latitud por la altura del Sol era un método ya recogido en los Libros del saber de astronomía de Alfonso X el Sabio, así como en otras obras medievales. Sin embargo, el procedimiento no estaba adaptado para su empleo por los navegantes. En las tablas astronómicas, la longitud celeste del Sol (se cuenta sobre la eclíptica, en sentido directo, a partir del punto Aries) se contaba independientemente, de 10° a 30° , para cada uno de los sucesivos signos del zodíaco que el Sol iba recorriendo a lo largo del año. La declinación del Sol se encontraba en otras tablas, en las que se entraba conocida la longitud del Sol. Estas tablas servían para un cuatrienio –tres años y el bisiesto–, si bien los valores de la declinación variaban cada vez más en cuatrienios sucesivos, pues la revolución anual del Sol no coincidía exactamente con la longitud del año. Por ello era necesario corregirlas en una cantidad constante. Se empleaba entonces el calendario juliano, el cual adelantaba cada año en casi 11 minutos respecto del año trópico, marcado por el movimiento del Sol. El calendario gregoriano, que se ajustaba mejor al año trópico, se establecería en 1582. En todo caso, convenía no dejar transcurrir muchos años antes de obtener unas nuevas tablas de declinación.

Al igual que en el caso de los procedimientos anteriormente comentados, la autoría de la adaptación de este método al uso náutico es incierta. Se acepta que las primeras tablas de declinación se adaptaron de los contenidos del



Almanach perpetuum coelestium motum, traducción de 1496 de un tratado elaborado en Salamanca en 1478, y que contenía tablas para el cuatrienio base 1473-76. Su autor era el judío Abraham Zacuto (Abraham Bar Samuel Bar Abraham Zacut), que pasaría a Portugal en 1492 a causa del decreto de expulsión, donde la edición sería llevada a cabo por su discípulo Joseph Vizinho.

Las primeras tablas adaptadas a la navegación, que daban la declinación del Sol cada día para el cuatrienio 1517-20, fueron publicadas hacia 1516. A partir de ese momento, tablas más o menos actualizadas aparecerían en todos los tratados de navegación. Si bien existen testimonios del empleo de tablas de este tipo ya a fines del siglo anterior, particularmente en el viaje de Vasco de Gama (para 1497-1500).

Conocida a través de las tablas la declinación del Sol el día de la observación, la fórmula a aplicar era una combinación –suma o resta– de la declinación y la distancia cenital (complemento de la altura) del Sol a su paso por el meridiano. En términos actuales, podríamos decir que la latitud resulta de restar la distancia cenital de la declinación. Ahora bien, hay que tener en cuenta los signos de ambas. La declinación es positiva al norte del ecuador, negativa al sur; y la distancia cenital se toma como positiva o negativa según que la observación se realice cara al norte o cara al sur. Esta cuestión de los signos llevó en la época a componer un Regimiento del Sol formado por un conjunto de reglas que contemplaban los posibles casos, según las posiciones relativas del Sol y de la sombra del observador.



2. Astrolabio náutico. De Martín Cortés, *Breve compendio de la sphaera y de la arte de navegar*, Sevilla, 1551.



3. Empleo del astrolabio para tomar la altura del Sol. De Pedro de Medina, *Regimiento de navegación*, Sevilla, 1563.

La altura del Sol se podía tomar con el cuadrante. Pero se consideró más ventajoso emplear otro instrumento adaptado de la astronomía, el astrolabio. El astrolabio astronómico era un instrumento complejo, adaptado a muy diversos usos. En navegación, el astrolabio náutico consistió simplemente en un disco graduado, por lo general no todo él, dotado de una anilla de suspensión y de una alidada giratoria con pínulas, únicos elementos necesarios para medir alturas. Para observar el Sol se suspendía el instrumento cerca del palo mayor (es decir, del centro de gravedad del barco), y se giraba la alidada hasta que el rayo de Sol que pasaba por la pínula superior coincidiese con la inferior. A esta operación se le denominaba «pesar el Sol». De este modo no era necesario tender una visual directamente, con el consiguiente deslumbramiento. Muchos de estos instrumentos llevaban una escala grabada a partir de los 0° desde el punto de suspensión, por lo que la lectura del limbo daba directamente la distancia cenital. Para evitar la resistencia al viento, el cuerpo del astrolabio se vació en forma de volante o rueda, añadiéndose peso en la parte inferior para dotarle de estabilidad; y las pínulas se aproximaron al centro de la alidada, lo que facilitaba la medición de alturas del Sol, aunque iba en detrimento de la observación de alturas de estrellas.



4. Empleo de la ballestilla para la obtención de la latitud por la observación de la altura de la estrella Polar sobre el horizonte. De Pedro de Medina, *Regimiento de navegación*, Sevilla, 1563.

Hacia 1530 existe constancia del uso de otro instrumento que servía tanto para la observación del Sol como de las estrellas: la ballestilla. Posiblemente derivado de un instrumento conocido como «báculo de Jacob» o «radio astronómico», empleado por topógrafos y astrónomos, la ballestilla constaba básicamente de una vara de sección cuadrada, el «radio» o el «virote», sobre la que podía deslizarse perpendicularmente a ella otra de menor tamaño, llamada «sonaja». Para observar la altura de un astro se apoyaba el radio justo debajo del ojo, y se desplazaba la sonaja hasta que las visuales tendidas a través de sus extremos coincidiesen, respectivamente, con el horizonte y con el astro. La distancia angular se leía entonces directamente sobre la escala grabada en el radio. El instrumento llegó a contar con cuatro sonajas de diversa longitud, correspondiendo cada una de ellas a una escala diferente grabada en cada una de las caras del radio. Se escogía una u otra de ellas en función de la amplitud del ángulo a medir. En la práctica, si el Sol se observaba de frente, se tendía la visual a su borde superior, con el fin de que lo cubriese la sonaja y evitar el deslumbramiento. Entonces había que restar a la medida los 15' de semidiámetro



del Sol. También se podía observar de espaldas, mediante la sombra proyectada por el extremo superior de la sonaja sobre una pequeña pieza situada en el extremo del radio destinado al ojo, mientras que la visual al horizonte se tenía desde el otro extremo de la sonaja.

3. USO DE LA CARTA NÁUTICA PARA FIJAR LA POSICIÓN

La superficie terrestre es, con mucha aproximación, esférica, mientras que las cartas son planas. Y la representación de una porción apreciable de una esfera sobre un plano conlleva, inevitablemente, deformaciones. Las cartas-portulano, originarias del Mediterráneo, estaban trazadas sobre la base de líneas de rumbo rectas y de distancias estimadas a lo largo de las mismas. Pero, como mostró el cosmógrafo portugués Pedro Nunes en 1537, en realidad una línea de rumbo constante, sobre la esfera, es una espiral que finaliza en el polo, aunque sin alcanzarlo nunca. Las líneas de rumbo sólo podían ser rectas en una carta en la que los paralelos se hallasen espaciados crecientemente a partir del ecuador, algo que mostró Gerhard Mercator en una carta publicada en 1569. Sin embargo, la práctica seguida por los navegantes desde principios del siglo XVI, momento en que se introdujo la latitud en las cartas, era representar esta coordenada mediante grados equidistantes trazados sobre un meridiano, superpuesto al esquema tradicional de rumbo y distancia proveniente de las cartas mediterráneas. A esta carta, trazada sobre una urdimbre de paralelos y meridianos equidistantes, se la conoce como carta plana o cuadrada.



5. Empleo de carta nautica. De Martín Cortés, *Breve compendio de la sphaera y del arte de navegar*, Sevilla, 1551



La consecuencia era que, al suponerse iguales los grados de latitud, las líneas de rumbo no podían ser rectas; y al considerarse implícitamente los meridianos igualmente espaciados, sin considerarse su convergencia en los polos, a medida que se aumentaba la latitud las distancias este-oeste se veían crecientemente exageradas en la carta. Así, por ejemplo, se duplicaban en la latitud de 60° .

De hecho, ni Nunes ni Mercator propusieron procedimiento efectivo alguno para corregir estos defectos de la carta. En la práctica, parece que los pilotos avisados del problema lo corregían empíricamente, aumentando su estimación de la andadura del barco. Sólo en la última parte del siglo se sugeriría la introducción de distintos «truncos de leguas» –escalas de distancias– para diversas latitudes.

El procedimiento para marcar la posición de la nave en la carta o, como se decía entonces, «echar el punto», hacía uso de dos divisores o compases. Una punta del primero se ponía en el lugar de partida, y la otra en el rumbo por el que se navegó. En cuanto al segundo compás, una punta se ponía en la graduación correspondiente a la escala de latitudes –la altura del polo observada en ese momento–, y la otra en el paralelo más próximo trazado en la carta. Se deslizaban con cuidado los dos compases, y allá donde coincidiesen las puntas era el lugar donde se hallaba el barco. Es decir, que el punto se echaba por rumbo y altura. A este punto se le conocería como el de «escuadría», a diferencia del punto tradicional echado mediante el rumbo y la estimación de la distancia recorrida por él, que no sin buenas razones se llamaba «de fantasía». Este último se adoptaba sólo cuando no se podía determinar la latitud.

Cuando ambos puntos, el de fantasía y el de escuadría, no coincidían, se ponía, naturalmente, toda la confianza en la latitud observada y, aun a sabiendas de que el procedimiento era un tanto expeditivo, se modificaban el rumbo y la distancia estimada, de tal modo que el punto corregido se echaba sobre el mismo meridiano donde se hallaba el de fantasía, pero en la latitud observada.

Con todas estas circunstancias, se puede ver cuán incierto era el uso de la carta. En la práctica, las navegaciones se solían efectuar siempre que era posible por paralelo o por meridiano. A la partida, el piloto buscaba seguir un meridiano hasta llegar a la latitud del puerto de arribada, y a partir de ahí navegaba por el paralelo, manteniéndose en una latitud constante. Las precauciones se extremaban cuando el piloto se consideraba próximo a tierra, para lo cual por lo general estimaba al alza la distancia recorrida, con el fin de hallarse prevenido.



4. LA VARIACIÓN DE LA AGUJA Y EL PROBLEMA DEL PUNTO FIJO

Según parece, en el mar fue Colón, en su viaje a América, el primero en descubrir que la aguja náutica se desviaba del polo norte no, como se creía, en una cantidad constante, sino en una cantidad que variaba con el lugar. Este efecto, hoy llamado «declinación magnética» y conocido generalmente entonces como «variación de la aguja», se debe a que los polos geográfico y magnético no coinciden. Se trata además de un efecto variable con el tiempo, como se descubriría más adelante. Dado que la desviación podía ser de varios grados (en la época, en la península de Labrador, llegó a 22,5°), el piloto podía cometer graves errores en el rumbo si no aplicaba la oportuna corrección. Estos errores suponían que, al echar el punto en la carta, éste estaría errado tanto en latitud como en longitud. A esto se sumaba el hecho de que muchas agujas se construían teniendo en cuenta la desviación en el lugar de su fabricación, suponiéndola constante, de modo que se desviaba la aguja del norte de la rosa en la cantidad necesaria para corregirla. Esta circunstancia no siempre era tenida en cuenta por los pilotos.

La solución práctica que se adoptó fue el de tabular las desviaciones en distintos puertos. En 1530, el cosmógrafo Alonso de Santa Cruz anotó al margen de una carta las desviaciones correspondientes a distintos meridianos. Tales correcciones ignoraban el hecho de que la desviación de la aguja también podía variar con la latitud. Pero aunque esto todavía no se tuviese en cuenta, así como la variación de la declinación magnética con el transcurso del tiempo, una solución definitiva, que pronto se propuso, fue la de comparar cada día la alineación de la aguja con el meridiano determinado por medios astronómicos. Para ello se idearon los que se llamarían «compases de variación». Estos debieron surgir como perfeccionamiento de métodos ya propuestos en el primer cuarto del siglo XVI. Así, se podía elevar la aguja a la altura de los ojos, alineándola con la visual tendida a alguna estrella (se usaría la Polar o la Cruz del Sur) en el momento de su tránsito meridiano. Pero parece que el procedimiento más usado fue observar la sombra que por el día arrojaba el Sol. Siendo difícil de determinar su dirección precisamente en el momento del mediodía, se usaba el punto medio señalado por sombras de igual longitud antes y después del paso del Sol por el meridiano. Para ello las observaciones se harían cuando el Sol alcanzase, antes y después del mediodía, las mismas alturas sobre el horizonte.



El fenómeno de la variación de la aguja, con los distintos valores que presentaba en las navegaciones a lo largo de un paralelo, hizo concebir esperanzas de que este dato pudiese servir para obtener directamente en el mar la coordenada que faltaba: la longitud. El método tradicional de obtención de la diferencia de longitud en tierra entre dos lugares era mediante la observación de eclipses: anotada la hora local en que ocurría el fenómeno, la diferencia entre ésta en los dos lugares daba directamente, a razón de 360° las 24 horas, su diferencia en longitud. Obviamente, la escasa frecuencia de estos acontecimientos tornaba inútil su empleo en la navegación. Por ello un método basado en la variación aparecía muy atractivo. Sin embargo, no se encontraron las regularidades esperadas. El cosmógrafo Martín Cortés fue autor de una influyente teoría según la cual la aguja no apuntaría al polo celeste, sino a un punto por debajo de él, situado entre el polo terrestre y las esferas celestes. Cuando dicho punto y el polo estuviesen situados en el mismo meridiano, la variación sería nula. Por una especie de efecto de paralaje, cuando a partir de ahí se navegase a Levante, la aguja nordestearía, y al navegar hacia occidente noroestearía. En todo caso, Cortés consideraba que, al igual que sucedía con la declinación del Sol, su variación no era uniforme, limitándose a recomendar a los pilotos que se basasen en la experiencia para contrastar la declinación magnética. El que se considerase que el fenómeno se debía a que la aguja era atraída por algún punto o polo magnético distinto del celeste fue lo que motivó la denominación de «problema del punto fijo» que se le dio en la época al de la determinación de la longitud. De la preocupación que despertó el tema da fe el *Libro de las longitudes* de Alonso de Santa Cruz, manuscrito que fue redactado hacia mediados del siglo, en donde se revisaban diversos métodos –todos ellos entonces impracticables en el mar– para la determinación de longitudes, así como el importante premio que en 1598 ofrecería Felipe II a quien resolviese el problema, premio al que concurrió el mismo Galileo.

Ya en el primer cuarto del siglo XVIII, el Parlamento inglés ofreció un sustancioso premio, oferta que culminaría finalmente con la solución del problema por dos métodos distintos que ya habían sido propuestos en la época que nos ocupa: la conservación de la hora del meridiano de partida mediante un cronómetro adaptado a su uso en el mar, y el empleo del movimiento lunar por la determinación de las distancias angulares del borde de la Luna a estrellas zodiacales seleccionadas. El objetivo, logrado a mediados del mil setecientos, era el que los marinos ibéricos ya habían conseguido, en el caso de la latitud, dos siglos antes: determinar esta coordenada con un error de alrededor de medio grado.



6. Empleo de la ballestilla para la medición de distancias lunares (en segundo plano, su aplicación a la topografía). De J. Werner y P. Apianus, *Introductio geographica Petri Apiani in Doctissimas Vernerii annotationes*, Inglostadt, 1533.

5. LA DIMENSIÓN INSTITUCIONAL DEL ARTE DE NAVEGAR

El arte de navegar constituyó algo más que un conjunto de reglas recogidas en los manuales. Para comenzar, junto a dichos manuales habría que considerar también los derroteros, libros de instrucciones para navegaciones específicas en donde se recogían todos los datos que pudiesen facilitar la ruta, tales como vientos dominantes, corrientes, distancias, perfiles costeros y accidentes significativos, descripciones de puertos, etc. Por lo general constituyeron, durante la mayor parte del siglo cuanto menos, material reservado, y por consiguiente quedaron manuscritos. Pero, junto a los manuales de navegación, constituían un elemento imprescindible a la hora de aventurarse por aguas poco conocidas por el piloto.

Por otra parte, habría que considerar también la dimensión institucional, muy importante en una época que se abría al nacimiento de la ciencia moderna. Tanto la monarquía portuguesa como la española crearon pronto instituciones destinadas a controlar los diversos aspectos del tráfico colonial. Y uno de esos aspectos era la recogida de información geográfica, el control profesional de los pilotos y la mejora de los procedimientos de navegación. En este punto, la documentación portuguesa que se conserva es poco precisa, pero existe constancia de que, hacia mediados del siglo XVI, el cosmógrafo mayor



—entonces Pedro Nunes— daba clase en Lisboa a pilotos, cartógrafos y constructores de instrumentos. Parece que había que superar un examen para obtener el título.

Por parte castellana, en Sevilla se estableció pronto, en 1503, la Casa de Contratación de Sevilla, y en 1508 se estableció en ella el puesto de Piloto Mayor, con el encargo de dar clase y examinar a los pilotos que hubiesen de navegar a América, así como de examinar y aprobar las cartas e instrumentos de navegación que éstos usaban. En 1512 se instituyó el llamado «padrón real», una carta en donde se iban consignando los nuevos descubrimientos, rectificadas y puesta constantemente al día, y que servía de patrón para el trazado de las cartas de navegación. En 1523 se creó el cargo de cosmógrafo fabricante de cartas e instrumentos, y en 1552 el de catedrático de cosmografía, con el encargo de impartir docencia en el ramo de la cosmografía y la navegación.

La creación de estos puestos propició en buena medida la redacción de tratados de navegación, de los cuales bastantes quedaron manuscritos, si bien no todos se deben a quienes ocuparon estos cargos. Los primeros manuales portugueses que se dieron a la imprenta, por lo que se sabe, son los conocidos como *Regimientos de Munich* (ca. 1509) y *de Évora* (ca. 1517), por los lugares en donde se hallaron los únicos ejemplares que se conservan. Casi con toda probabilidad, fueron compuestos tomando como base anteriores tratados que circularían manuscritos. Otra obra importante fue el *Tratado da Agulha de Marear*, atribuido a João de Lisboa, publicado en 1514. En él se trata de la corrección de la declinación magnética por la posición de las guardas de la Polar. Más tarde, destaca la obra de Pedro Nunes, quien tradujo y comentó el *tratado de la esfera de Sacrobosco* en 1537, adjuntándole un *Tratado em defensam da carta de marear*. En 1546 publicó otra importante obra, el *De arte atque ratione navegandi*.

Por parte castellana, la primera obra de navegación en ser publicada fue la *Suma de geographia que... trata largamente del arte de navegar* (1519) de Fernández de Enciso, que incorporaba tablas con los valores de la declinación solar. Vino a continuación el *Tratado del Esphera y del arte de marear* (1535) del portugués Francisco Faleiro, al servicio de la corona castellana. En esta obra se ocupó de señalar algunos métodos para medir la declinación magnética, que la Suma de Enciso no recogía.

La culminación de estas obras de navegación se alcanzó a mediados del siglo, con las de Pedro de Medina y Martín Cortés. El primero publicó un *Arte de navegar* (1545) y posteriormente un *Regimiento de navegación* (1552).



Martín Cortés escribió un *Breve compendio de la sphaera y de la arte de navegar* (1551). El libro de Medina conoció quince ediciones en francés, cuatro en holandés, tres en italiano y dos en inglés. El de Cortés, nueve ediciones en inglés. Este éxito editorial se debe en buena medida al interés de otras naciones europeas por sumarse a la aventura colonial; de modo que, tal como tituló Guillén Tato uno de sus trabajos, podría decirse que «Europa aprendió a navegar en libros españoles». Cabe citar también un breve compendio escrito por el cosmógrafo Rodrigo Zamorano y publicado en 1581, que fue ampliamente utilizado. Finalmente, hay que señalar que la *Instrucción náutica* de Diego García de Palacio, publicada en México en 1587, fue la primera obra impresa en tratar el tema de la construcción naval.

Las obras citadas no agotan, desde luego, la lista de tratados impresos. Y también, por otra parte, hay que contar además con obras importantes que, por una u otra razón, en muchos casos por contener información que se consideraba confidencial, quedaron manuscritas. Hay que concluir que, durante el siglo XVI, hubo un verdadero florecimiento de la literatura náutica.

6. ALGUNAS CONSIDERACIONES A MODO DE CONCLUSIÓN

Pese a que las obras de Nunes, Medina y Cortés, redactadas más o menos a mediados del siglo, pudieran reputarse de más «científicas» en comparación con el carácter de «recetario» de manuales anteriores, lo cierto es que el «regimiento», o conjunto de reglas a aplicar en cada caso, dominó el arte de navegar de la época. Y éste no podía complicarse demasiado. No escasearon los cosmógrafos con una buena formación teórica que hiciesen propuestas para introducir un mayor rigor en los métodos empleados en la navegación. Particularmente, Pedro Nunes defendió el empleo de la carta cuadrada, señaló métodos para la obtención de la latitud por alturas del Sol tomadas fuera del meridiano, y pretendió corregir el Regimiento del Norte tomando en cuenta la pequeña diferencia que se introducía cuando la altura de la Polar se tomaba fuera del meridiano. También aconsejó la navegación por círculo máximo, al ser éste el trayecto más corto entre dos puntos situados sobre una esfera. Pero, en general, estas y otras propuestas resultaban impracticables o bien, como en el caso del Regimiento de la Polar, los errores que pretendían corregir quedaban ampliamente desbordados por los inherentes a la observación misma. Y también porque exigían al colectivo de los pilotos de una capacitación en matemáticas y cosmografía que éstos no poseían. De este modo, ya hacia mediados del siglo comienzan a ser comunes las quejas de los cosmógrafos



acerca de la falta de preparación de los pilotos, y de los pilotos acerca de la falta de experiencia de los cosmógrafos en la práctica de la navegación.

A principios del siglo XVII, comenzaron a oírse voces pesimistas sobre el decaimiento de la navegación, que acompañaba a la situación desfavorable en la economía, en la política, en la cultura, en la que cayó el país durante el siglo XVII. Un siglo después de escrito, todavía se seguía usando el breve manual de Rodrigo Zamorano, y haciéndose uso de tablas de declinación caducadas muchos años atrás. La ausencia de pilotos bien experimentados se hacía cada vez más notoria. Las enseñanzas en la Casa de Contratación decayeron. El arte de navegar se estancó. En 1634, el almirante Pedro Porter y Casanate publicó un libro titulado *Reparo a errores de la navegación española*. No deja de ser significativo, sin embargo, que, en 1599, Edward Wright alertara asimismo a los pilotos ingleses en una obra que llevaba por título *Certain errors in navigation*.

Aun sin olvidar que la navegación participó del decaimiento general del siglo XVII, no hay que cargar demasiado las tintas. También es cierto que la solución de los problemas a los que se enfrentó el arte de navegar, particularmente el empleo de la carta cuadrada, no fue fácil. El empleo de las cartas llamadas esféricas, que hacían uso de la proyección de Mercator, requería de nuevas habilidades por parte de los pilotos. Más grave es la denuncia de que tanto instrumentos como cartas se elaboraban sin control, lo que señala el deterioro de las funciones que en este ramo debían ejercer los cosmógrafos de la Casa de Contratación. Pero la solución no pasaba ya por recuperar el rigor perdido. El viejo arte de navegar, que tuvo su momento, debía dar paso a una nueva concepción de la náutica dentro de la cual los pilotos ya no podrían servirse de regimientos, sino que, adiestrados en los procedimientos matemáticos, debían apoyarse en ellos para la resolución de los distintos casos desde sus primeros principios. En definitiva, el arte de navegar precedió o, si se quiere, acompañó en cierta medida a la revolución científica. Pero los cambios que ésta supuso tornaron a su vez caduco el viejo arte. Como he escrito en alguna otra ocasión, el tránsito a dar era el del arte de navegar al de la «ciencia» de la navegación. Es decir, el paso de la aplicación más o menos ciega de reglas, digamos, matemáticas, a su deducción a partir de los fundamentos matemáticos que eran de aplicación general. En suma, en esta nueva etapa lo que se iba a requerir, al compás de los tiempos, era la aplicación de una racionalidad de corte científico, hechura de la misma revolución científica que, en muy diversos aspectos, el mismo arte de navegar vino a posibilitar.



NOTA BIBLIOGRÁFICA

La bibliografía sobre la navegación del siglo XVI es abundante. Pero creo que los libros que se citan a continuación constituyen una buena introducción a sus aspectos más relevantes.

La obra clásica sobre la navegación portuguesa de la época es la de A. Fontoura da Costa, *A marinharia dos descobrimentos*, Lisboa, Edições Culturais da Marinha, 1983 (4ª de.). Más actualizado, aunque algo menos detenido, es el libro de Luis de Albuquerque *Historia de la navegación portuguesa*, Madrid, Mapfre, 1991. Para el caso español, la historia clásica de la navegación es la de S. García Franco, *Historia del arte y ciencia de navegar. Desenvolvimiento histórico de «los cuatro términos» de la navegación*, 2 vols., Madrid, Instituto Histórico de la Marina, 1947. Más actualizado y con un gran cuidado hacia el contexto, trata precisamente de la navegación de la época el libro de J. Mª. López Piñero, *El arte de navegar en la España del Renacimiento*, Barcelona, Labor, 1979. La relación entre instrumentos y métodos de navegación se aborda en M. A. Sellés, *Instrumentos de navegación. Del Mediterráneo al Pacífico*, Barcelona, Lunwerg, 1994. El trabajo clásico sobre la dimensión científica de la Casa de Contratación es el de J. Pulido Rubio, *El Piloto Mayor de la Casa de Contratación de Sevilla*, Sevilla, Escuela de estudios hispano-americanos, 1950; pero véase también la interesante recopilación de trabajos de U. Lamb, *Cosmographers and Pilots of the Spanish Maritime Empire*, Aldersot (Gran Bretaña), Variorum, 1995. Finalmente, sobre los desarrollos subsiguientes de la navegación española puede verse M. A. Sellés, *Navegación astronómica en la España del siglo XVIII*, Madrid, UNED, 2000.

Por otro lado, una parte apreciable de los tratados y manuscritos de navegación de la época han ido siendo reeditados a lo largo de los años, con interesantes introducciones. Una buena porción de ellos se ha editado por el Museo Naval de Madrid, dependiente del Ministerio de Defensa.



CASA DE CONTRATACIÓN

PILOTOS MAYORES

Duración en el cargo.

Américo Vespucio (1508-12)
Juan Díaz de Solís (1512-16)
Sebastián Caboto (1518-48)
Alonso de Chaves (1552-86)
Rodrigo Zamorano (1586-96)
Andrés García de Céspedes (1596-98)
Rodrigo Zamorano (1598-1620)

CATEDRÁTICOS DE COSMOGRAFÍA

Duración en el cargo

Jerónimo de Chaves (1553-68)
Sancho Gutiérrez (1569-74)
Diego Ruiz (1574)
Rodrigo Zamorano (1575-1613)

COSMÓGRAFOS FABRICANTES DE CARTAS E INSTRUMENTOS

Fechas de nombramiento

Diego Ribeiro (1523)
Alonso de Chaves (1528)
Diego Gutiérrez (1534)
Pedro Mexía (1537)
Alonso de Santa Cruz (1537)
Sancho Gutiérrez (1553)
Diego Gutiérrez (hijo) (1554)
Diego Ruiz (1574)
Rodrigo Zamorano (1579)
Domingo Villarroel (1586)
Gerónimo Martín de Pradillo (1598)

Fuente: J. Pulido Rubio, *El Piloto Mayor de la Casa de Contratación de Sevilla*, Sevilla, 1950.