

MANUEL SILVA SUÁREZ, ed.

**TÉCNICA E INGENIERÍA
EN ESPAÑA**

I

EL RENACIMIENTO
De la técnica imperial y la popular

| | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Alicia Cámara Muñoz | M. ^ª Jesús Mancho Duque |
| Jordi Cartaña i Pinén | Pedro Mora Piris |
| Fernando Cobos Guerra | Fernando Sáenz Ridruejo |
| Jesús Criado Mainar | Julio Sánchez Gómez |
| Mariano Esteban Piñeiro | Manuel Silva Suárez |
| Nicolás García Tapia | M. ^ª Isabel Vicente Maroto |
| Miguel Á. Granada Martínez | Siro Villas Tinoco |
| Alexander G. Keller | |

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA
INSTITUCIÓN «FERNANDO EL CATÓLICO»
PRENSAS UNIVERSITARIAS DE ZARAGOZA

Publicación número 2.829
de la
Institución «Fernando el Católico»
(Excma. Diputación de Zaragoza)
Plaza de España, 2 • 50007 Zaragoza (España)
Tels.: [34] 976 288878/79 • Fax [34] 976 288869
ifc@dpz.es
<http://ifc.dpz.es>

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA SUÁREZ, Manuel
El Renacimiento: De la técnica imperial y la popular / Manuel Silva Suárez. —
Zaragoza: Real Academia de Ingeniería : Institución «Fernando el Católico» :
Prensas Universitarias, 2008

760 p. : il. ; 24 cm. — (Técnica e Ingeniería en España ; I)
ISBN: 978-7820-XXX-X

1. Ingeniería-Historia-S. XVI y XVII. I. SILVA SUÁREZ, Manuel, ed. II. Institución
«Fernando el Católico», ed.

© De los textos, sus autores.

© De la presente edición, Real Academia de Ingeniería, Institución «Fernando el Católico»,
Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008.

Cubierta: Diversos modelos de alambiques recogidos por Miguel Agustí en el libro
Secrets d'Agricultura, casa rústica i pastoril (Barcelona, 1617). El uso más
común de estos ingenios era la destilación de licores. No obstante, con el
objetivo de conseguir restaurativos medicinales, también se empleaba para
conseguir extractos de flores, cortezas, frutas y raíces, e incluso de animales
como ranas, garzas, babosas u hormigas.

Contracubierta: Para romper una pieza defectuosa de artillería se construía un peque-
ño horno con el que se le calentaba por el lugar deseado. Una vez alcanza-
da la temperatura adecuada se rompía con golpes de maza. Con objeto de
avivar el fuego se solía emplear una pareja de barquines como los mostra-
dos. (*Discurso del Capitán Cristóbal Lechuga, en que trata de la Artillería y
de todo lo necesario a ella con un tratado de fortificación y otros adverti-
mientos*, Milán, 1611; fig. 27).

ISBN: 978-84-7820-814-2 (obra completa)

ISBN: 978-84-7820-975-0 (2.ª edición ampliada del volumen I)

Depósito Legal: Z-XXXX-08

Corrección ortotipográfica: Marisancho Menjón y María Regina Ramón

Maquetación: Littera

Impresión: ARPI Relieve, Zaragoza

IMPRESO EN ESPAÑA - UNIÓN EUROPEA

El arte de navegar

M.^a Isabel Vicente Maroto
Universidad de Valladolid

A finales del siglo xv la navegación sufre una transformación profunda. Hasta entonces se había realizado una navegación costera, orientándose por la costa visible o cercana. La nueva «navegación de altura» o «navegación astronómica» se inicia en el Atlántico, por los portugueses, en el tercer cuarto del siglo xv, basada en la observación del sol y de la estrella polar. Después del descubrimiento de América y de arribar al Cabo de Buena Esperanza, los científicos y técnicos se afanaron por perfeccionar la navegación, impulsados por el interés de los Estados marítimos de Europa, que veían en su comercio por mar la base más sólida para su engrandecimiento.

Para la Corona española el dominio del mar era uno de los pilares para el mantenimiento de su poder y hegemonía, y una de las actividades más importantes durante el Renacimiento fue por tanto la navegación. La nueva etapa fue posible gracias a la confluencia de la tradición marinera del Mediterráneo con la del Atlántico.

Es conocida la afirmación del almirante Guillén Tato «Europa aprendió a navegar en libros españoles»¹, basada en las numerosas traducciones a las principales lenguas europeas que se realizaron durante el siglo xvi de varios tratados de náutica.

El 14 de febrero de 1503, por cédula de los Reyes Católicos, se crea en Sevilla la Casa de la Contratación —«la primera institución gubernamental para el progreso de la tecnología», en palabras de la historiadora germana Ursula Lamb²— con el fin de regular la navegación a las Indias y mejorar la seguridad. Y eran precisos buenos navíos, capaces de soportar largas travesías, aptos para el transporte de mercancías y capaces de defenderse de los ataques de piratas y corsarios.

Pero la profunda crisis del siglo xvii afectó también a la navegación, e ingleses y holandeses fueron logrando la primacía sobre los ibéricos.

¹ J. GUILLÉN TATO: *Europa aprendió a navegar en libros españoles*, Barcelona, 1943.

² J. M. LÓPEZ PIÑERO y otros: *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*, 2 vols., Barcelona, 1983, p. 402.

I

EL ARTE DE NAVEGAR

«El arte de navegar es aquella que enseña a los hombres cómo por la mar podrán guiar y endereçar el navío al propuesto puerto». Así comienza Joao Baptista Lavanha, cosmógrafo portugués al servicio de Felipe II, su tratado sobre la materia, leído en la Academia Real Matemática de la corte³. Denominada genéricamente «náutica», es una de las más tempranas disciplinas «aplicadas» y uno de los primeros puentes que acabaron con la separación entre ciencia y técnica propia de la Antigüedad clásica y del mundo medieval⁴, y se desarrolló ante los problemas técnicos que planteaba la nueva navegación de altura. Porque los pilotos habían de guiarse por el cielo, y para conocer su posición debían saber determinar la altura del sol y de la estrella polar mediante los instrumentos más comunes: astrolabio, cuadrante y ballestilla. Además, tenían que manejar la *aguja* (brújula); conocer bien la luna y las mareas; disponer de cartas de navegación correctas, dibujadas por marinos experimentados. Y se precisaban buenos maestros, instrumentos y libros.

I.1. *Pilotos y maestros en el arte de navegar*

Para una navegación segura eran imprescindibles buenos pilotos que conociesen bien su oficio y buenos maestros que les instruyesen en el «arte». Pero también instituciones que velasen por su formación.

El descubrimiento por Colón de nuevas tierras en Occidente y la consiguiente explotación de sus riquezas impulsaron a los Reyes Católicos a crear, en fechas muy tempranas, la Aduana de Cádiz, con el fin de regular el tráfico de las mercancías que llegaran o que salieran para las Indias. Muy pronto, esta institución se mostró insuficiente, por lo que se estableció en Sevilla, en 1503, la Casa de la Contratación⁵, dotada de una estructura inicial algo más compleja que la Aduana gaditana pero con el mismo objetivo. Se componía de un factor, un tesorero y un escribano que debían atender los aspectos derivados del comercio con América: decidir qué mercancías serían más provechosas para la Corona, nombrar a los capitanes de los buques y darles las instrucciones necesarias para cada viaje y, por supuesto, recibir y guardar las

³ Biblioteca de la Universidad de Salamanca, Ms. 2317. En la primera página del manuscrito figura «Comiэнçase a leer este trattato del Seor Juan Batta Lavaña Mathemático del Rey Nuestro Señor en la Academia de Madrid a 14 de março de 1588 años».

⁴ J. M. LÓPEZ PIÑERO: *El Arte de navegar en la España del Renacimiento*, Barcelona, 1979.

⁵ A José de Veitia y Linaje (Burgos, 1623 – Sevilla, 1688) se debe que se haya conocido muy bien el funcionamiento de la Casa de la Contratación y la colección de leyes relativas a la organización social y jurídica de las actividades científicas de dicha institución. En su obra *Norte de la Contratación de las Indias Occidentales* (1672, traducida al inglés en 1702), en el capítulo segundo, que trata del «Piloto Mayor, los cosmógrafos y pilotos de la carrera de las Indias, y sus derechos y obligaciones», lo explica con detalle.

mercancías y el oro procedentes de las Indias. Era por tanto, en principio, un establecimiento puramente comercial. Pero pocos años después, celebradas las Juntas de Toro en 1505 y las de Burgos en 1508⁶, en las que participaron expertos navegantes como Juan Rodríguez de Fonseca, Vicente Yáñez Pinzón, Américo Vespucci, Juan de la Cosa y Juan Díaz de Solís, para mejorar la seguridad de la navegación a las Indias y el progreso de la náutica se resolvió crear la figura de Piloto Mayor de la Casa de la Contratación y establecer la elaboración y mantenimiento del *Padrón Real*.

La organización científica de la Casa de la Contratación se centra en la creación de las figuras de piloto mayor (1508), cosmógrafo de hacer cartas e instrumentos de navegación (1519) y catedrático del arte de navegar y cosmografía (1552).

El cargo fundamental fue el de piloto mayor, encargado de examinar y graduar a los pilotos y de verificar la calidad de sus cartas e instrumentos. Además, dirigía la confección del *Padrón Real*, carta patrón o modelo oficial a partir del cual debían elaborarse todos los mapas y cartas que utilizasen los pilotos y maestros de las naves, e inventario general de todas las tierras descubiertas, en el que estaba señalado tanto el mundo antiguo abarcado por los portulanos mallorquines como el Nuevo Mundo descubierto por los españoles y portugueses, por lo que debía ser constantemente actualizado. La revisión del Padrón Real durante todo el siglo XVI fue uno de los principales problemas técnicos, y una fuente de continuos enfrentamientos y litigios entre los cosmógrafos, científicos más teóricos, y los pilotos, más prácticos⁷. La dificultad de precisar las coordenadas geográficas de los lugares reflejados en el Padrón, principalmente la longitud, obligó a recurrir para su confección y perfeccionamiento a los matemáticos y cosmógrafos de más prestigio. La continua corrección del padrón, junto con el secreto con el que debía guardarse, es una de las causas de la escasez de ejemplares de la época que han llegado hasta nosotros. Pero la producción cartográfica de la Casa de la Contratación marcará el desarrollo de esta ciencia en los siglos venideros.

Entre 1508 y 1512 ocupó el cargo de piloto mayor Américo Vespucci⁸, un italiano adiestrado en las navegaciones portuguesas. Le siguieron Díaz de Solís, Sebastián

⁶ Como es sabido, los reyes de España se valieron de un sistema de juntas para deliberar con sus asesores sobre cuestiones políticas, donde se contrastaban criterios de personas expertas en materias específicas y se proponían soluciones a problemas muy variados, con objeto de que el monarca adoptara una decisión debidamente fundamentada. Se celebraron juntas presididas por el rey en persona, para resolver asuntos de alto interés nacional, y se celebraron otras muchas de carácter técnico que reunían a los pilotos, cosmógrafos y matemáticos para discutir sobre cuestiones relativas a la náutica en general y a la cartografía en particular. En numerosos documentos de archivo se reflejan estas discusiones de especialistas sobre problemas más o menos complejos.

⁷ U. LAMB: *Cosmographers and Pilots of the Spanish Maritime Empire*, Variorum, 1995. En este libro se recogen artículos publicados por su autora sobre estos temas a lo largo de más de treinta años.

⁸ La real cédula de 22 de marzo de 1508, que creó el cargo de piloto mayor, designó a Vespucci para ocuparlo, asignándole un sueldo de 50.000 mrs.

Caboto, Alonso de Chaves y Rodrigo Zamorano. Pulido Rubio distingue dos periodos en el cargo de piloto mayor⁹; en el primero, el trabajo recae en hombres expertos en navegación por exclusivo nombramiento real; en el segundo, en cambio, recae en hombres de ciencia y se cubre por oposición ante un tribunal constituido por cosmógrafos y personas entendidas en navegación.

Para ayudar al piloto mayor, se creó años después el cargo de cosmógrafo de hacer cartas y fabricar instrumentos, que ocupó, al parecer, en primer lugar, Nuño García de Toreno (1519) como «maestro de hacer cartas» y en 1523 el portugués Diego Ribero, ya como «cosmógrafo y maestro de hacer cartas e astrolavios e otros ingenios para la navegación».

El sueldo era bastante escaso, pero sus ingresos aumentaban notablemente con los beneficios obtenidos por la venta de dichos instrumentos y cartas a los aspirantes a pilotos, que tenían la obligación de presentarse con ellos al examen ante el piloto mayor para conseguir la licencia. En cambio, el piloto mayor no podía hacer ni vender instrumentos a los navegantes de la ciudad de Sevilla, aunque sí a los de otros lugares, ni enseñar a quienes fueran a examinarse, bajo pena de diez ducados; tampoco podía aceptar dádiva alguna de quien pretendiese ser piloto; sí le estaba permitido fabricar y vender mapas, globos y otros instrumentos que no fueran a utilizarse para la navegación; debía convocar a los cosmógrafos y otros pilotos experimentados para realizar los exámenes, y al que no acudiese se le imponía una multa, al principio de dos reales, que se aumentaron a cuatro en 1568, ya que muchos no cumplían con su obligación. Las funciones del cosmógrafo eran hacer cartas náuticas e instrumentos de navegación, formar parte de los tribunales examinadores de pilotos y maestros y estudiar las relaciones que los pilotos traían de sus viajes, incorporando o no las novedades encontradas, según su grado de fiabilidad. Fueron muchos los cosmógrafos de la Casa de la Contratación, y más de una vez trabajaron juntos.

Según las nuevas Ordenanzas de la Casa de la Contratación de 1552, se estableció una cátedra de cosmografía y arte de navegar, destinada en particular a la formación de los maestros y pilotos, que ocupó Jerónimo de Chaves. Sobre su funcionamiento ya se ha tratado dentro de las instituciones para la formación de los técnicos, por lo que no nos detendremos más.

Aunque los tres cargos citados eran incompatibles, durante el siglo XVI se produjo la duplicidad. El caso más destacado es el de Rodrigo Zamorano, castellano, de Medina de Rioseco, nombrado catedrático de cosmografía en noviembre de 1575, cosmógrafo en agosto de 1579 y piloto mayor en abril de 1586. Zamorano siguió desempeñando sus cargos hasta su jubilación en 1613.

⁹J. PULIDO RUBIO: *El Piloto mayor de la Casa de la Contratación de Sevilla. Pilotos mayores, catedráticos de cosmografía y cosmógrafos*, Sevilla, CSIC, 1950.

Felipe II estableció otro oficio cosmográfico¹⁰, de vida efímera —de 1557 a 1567—, el de Cosmógrafo Mayor de la Casa de la Contratación, nacido para tener en la corte a un matemático de gran experiencia como Alonso de Santa Cruz, pues aunque estaba vinculado a la institución sevillana, su titular residía en la corte, al lado del monarca. El oficio creado para Santa Cruz se transformó después, con la reforma del Consejo de Indias llevada a cabo por Juan de Ovando, en el de Cosmógrafo-Cronista Mayor del Consejo de Indias¹¹, cuyo primer titular fue Juan López de Velasco en 1571. Este oficio de cosmógrafo mayor llegaría a estar vinculado, a partir de 1591, con el de catedrático de la Academia Real Matemática.

El piloto mayor, los cosmógrafos y demás pilotos debían juntarse en la Casa de la Contratación todos los lunes, entre las dos y las cinco de la tarde, para examinar y aprobar los instrumentos que se presentasen. Los instrumentos que no pasaran el examen debían destruirse, y si eran de latón, como los astrolabios, habría que fundirlos de nuevo; las cartas aprobadas se marcarían, y las otras se destruirían. Pero a partir de 1564 debían reunirse también los jueves, para que los pilotos de las flotas y armadas pudieran ir siempre bien provistos.

Al año siguiente se endureció el sistema de revisión, y las personas autorizadas a sellar y aprobar los instrumentos no podían ser sus propios constructores, «por ser cosa clara que no ha de dezir mal de su obra el maestro della», sino el piloto mayor y los cosmógrafos que no los hicieran ni vendieran, junto con dos pilotos de los más antiguos y probada experiencia en la navegación y en la carrera de Indias, que estuvieran desocupados.

Además de la enseñanza impartida por los catedráticos y pilotos de la Casa de la Contratación, Fernando Colón intentó establecer un centro para la enseñanza de las matemáticas y de las técnicas de navegación en el barrio de los Humeros de Sevilla, con el fin de proporcionar marinos para la Armada y las flotas de Indias. Después de numerosas propuestas a los primeros Austrias y tras varios intentos frustrados, por fin llegó a crearse el Colegio de San Telmo en 1681, en el que recoger y educar a muchachos huérfanos y sin recursos.

Colegios semejantes al de San Telmo de Sevilla intentaron crearse repetidas veces también en el Cantábrico. Cristóbal de Barros, el hombre de confianza de Felipe II para los asuntos navales en el Norte, propuso en 1573 la creación de seminarios para la formación de pilotos en el Cantábrico; la propuesta consistía en establecer una cátedra itinerante que impartiera enseñanzas durante tres meses en cada

¹⁰ M. ESTEBAN PIÑEIRO: «Los cosmógrafos al servicio de Felipe II. Formación científica y actividad técnica», *Mare Liberum*, n.º 10, Comissão Nacional para as comemorações dos Descobrimentos Portugueses, Lisboa, 1995.

¹¹ M. I. VICENTE MAROTO: «Alonso de Santa Cruz y el oficio de Cosmógrafo Mayor del Consejo de Indias», *Mare Liberum*, n.º 10, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses, Lisboa, 1995.

una de las tres provincias de Guipúzcoa, Vizcaya, y Cuatro Villas de la Costa de la Mar (Cantabria)¹². Algunas escuelas llegaron a funcionar durante algún tiempo, pero fueron claramente insuficientes, y propuestas del mismo tipo aparecen reiteradamente en memoriales escritos por expertos navegantes o constructores de navíos a lo largo de los siglos XVI y XVII¹³; con ellas se pretendía remediar la cada vez más acuciante falta de buenos pilotos y hombres dedicados a los oficios de la mar.

I.2. *Textos náuticos*

El arte de navegar resulta inseparable de la cosmografía y de la astronomía. Muchos autores de textos náuticos explican en sus prólogos el significado y las partes que abarcaba la disciplina. El vallisoletano Rodrigo Zamorano, cosmógrafo al servicio de la Casa de la Contratación, en su *Compendio de la Arte de Navegar*, escribe:

Toda la arte con que se navega por derrotas y alturas se divide en dos partes principales, Teórica y Práctica. La Teórica da el conocimiento de la compostura de la Esfera del mundo, en general; y en particular enseña el número, figura y movimiento de los cielos [...]. La práctica enseña la fábrica, composición y uso de los instrumentos que en la navegación sirven, qual es el Astrolabio, ballestilla, Aguja y Relox, con el Regimiento del Sol, y de la Estrella, las reglas de la Luna, y de las Mareas, y la declaración de la Carta: con otras cosas a esto pertenecientes.

En consecuencia, los tratados del Arte de navegar incluían una parte teórica, fundamentalmente cosmográfica, y una parte práctica. Pero los pilotos, además de los instrumentos y cartas de marear, llevaban consigo unos manuales de navegación de carácter práctico, los llamados *Regimientos*, que pretendían ser muy sencillos, como ponen de manifiesto los autores en sus prólogos.

Desde principios del siglo XVI vieron la luz textos náuticos, pero otros muchos quedaron manuscritos, particularmente los que contenían derroteros, aunque circularon en copias.

El primer libro impreso en el que se trata de la navegación a las nuevas tierras descubiertas, escrito por un hombre que había participado en los descubrimientos y exploraciones, es la *Suma de geografía que trata de todas las partidas y provincias del mundo: en especial de las Indias. Y trata largamente del arte de marear; juntamente con la esfera en romance, con el regimiento del sol y del Norte: nuevamente hechas*, Sevilla, 1519. Su autor, Martín Fernández de Enciso, había nacido probablemente en la capital hispalense, y después de estudiar leyes en esa universidad se trasladó a las Indias, instalándose en La Española en 1509 y participando en los

¹² J. L. CASADO SOTO: «El arte de navegar en el Atlántico en la época del tratado de Tordesillas», en *El Tratado de Tordesillas y su época*, 3 vols., Valladolid, 1995, vol. II, pp. 985-1.005.

¹³ Como resalta el autor del manuscrito *Diálogo entre un vizcaíno y un montañés sobre la fábrica de navíos*, ed. facsímil de la Universidad de Salamanca, 1998, con estudio y transcripción del texto de M.ª Isabel VICENTE MAROTO.

negocios del descubrimiento¹⁴. La obra está dedicada al emperador y en el prólogo explica que se decidió a escribir en castellano, no en latín, para que fuese útil a muchas más personas, pilotos y marineros, una descripción de las provincias conocidas, «con el regimiento del Norte y del sol y con sus declinaciones y con la longitud y latitud del Universo»; dice también que mandó hacer una figura en plano «en que puse todas las tierras y provincias del Universo de que hasta oy ha habido noticias por escrituras antiguas y por vista en nuestros tiempos», pero ese mapa no se llegó a imprimir: probablemente fue retirado por orden del Consejo de Indias, para no dar información geográfica a los portugueses. De la *Suma de geografía* se hicieron dos ediciones más, con correcciones, en 1530 y 1546, y la parte de la geografía indiana apareció en Londres, en 1578, como *A briefe description of the portes*.

El siguiente texto náutico que vio la luz en España, impreso en Sevilla en 1535, se debe a un cosmógrafo portugués, Francisco Falero, que vino a España desde Portugal con Magallanes; en 1519 entró al servicio de Carlos I con un sueldo considerable para la época, 35.000 maravedíes al año. *El Tratado del Esphera y del arte de marear: con el regimiento de las alturas: con algunas reglas nuevamente escritas muy necesarias*, como el propio título indica, consta de dos partes: la primera teórica, de cosmografía, y la segunda es el propio regimiento, aunque no incluía, como luego fue habitual, una parte dedicada a la construcción y uso de instrumentos náuticos.

A partir de mediados de la centuria el autor más conocido fue Pedro de Medina. Había nacido en 1493, no se conoce dónde, quizá de familia de judíos conversos, pero se sabe que pasó su infancia en el palacio sevillano de los duques de Medina Sidonia; se relacionó con Fernando Colón y con los cosmógrafos y pilotos de la Casa de la Contratación¹⁵. Desde 1535 el Consejo de Indias contó con él para formar parte de las juntas y comisiones que se celebraron para resolver problemas cosmográficos. Pero su gran prestigio se debe a ser el autor de sus tratados de navegación, que se difundieron por toda Europa¹⁶. El *Arte de navegar*, que dedica al príncipe don

¹⁴ Al año siguiente financió la expedición de Alonso de Ojeda para ir a descubrir la parte de Tierra Firme que hay entre el cabo de la Vela y el golfo de Urabá, nombrándose a sí mismo alcalde mayor de las tierras que se descubrieran; su enemistad con Vasco Núñez de Balboa, que no reconoció su autoridad, hizo que volviera a España a pedir justicia.

¹⁵ Formó parte de la Comisión que en 1535 elaboró el nuevo Padrón Real; acudió a la junta de Valladolid, con Alonso de Santa Cruz, en 1554, para enjuiciar un instrumento ideado por el alemán Pedro Apiano, para calcular la longitud; estuvo presente en la junta de Madrid, en 1556, para emitir un informe sobre la situación de las Filipinas. Y desde 1539 era Cosmógrafo de honor, sin salario, de la Casa de la Contratación, lo que le permitía construir y vender a los aspirantes y pilotos instrumentos y cartas náuticas, participando también en los tribunales examinadores.

¹⁶ M. CUESTA DOMINGO: *La obra cosmográfica y náutica de Pedro de Medina*, Madrid, BCH, 1998, con la edición de los textos de Medina, impresos y manuscritos. De la *Suma de la Cosmographia*, manuscrito de la Biblioteca Nacional de Madrid, Luisa MARTÍN-MERÁS ha hecho el estudio introductorio de la ed. facsímil de Ediciones Grial, Valencia, 1999.

Felipe, se imprimió en Valladolid en 1545, y comienza explicando que lo escribió al ver que «pocos de los que navegan saben lo que a la navegación se requiere, la causa es, porque ni hay maestros que lo enseñen ni libros en que lo lean». Pedro de Medina divide su obra en ocho libros, recopilando los principios de cosmografía y astronomía conocidos en su tiempo para aplicarlos a la práctica de la navegación. Rápidamente fue traducido a las principales lenguas europeas, reimprimiéndose muchas veces hasta muy entrado el siglo xvii¹⁷. Tiene el privilegio de haber sido editada en cinco idiomas durante el siglo xvi.

En el *Regimiento de navegación*, impreso en Sevilla, primero en 1552 y con una segunda edición en 1563, Pedro de Medina explica a los pilotos, de forma clara y más sencilla, cómo utilizar los instrumentos más comunes y las cartas náuticas. En el prólogo aclara que, después de haber navegado para saber todo lo que deseaba, compuso, una vez en tierra, su *Arte de Navegar*, y después un libro de *Regimiento de pilotos* (1552), y ahora escribe este regimiento «de tal manera que los pilotos y otras personas que navegan más claramente entiendan las cosas de la navegación, en especial los casos y peligros que navegando les puedan suceder». Dedicó sus libros a Felipe II, y dice ser el primero en haber escrito un *Arte de navegar*.

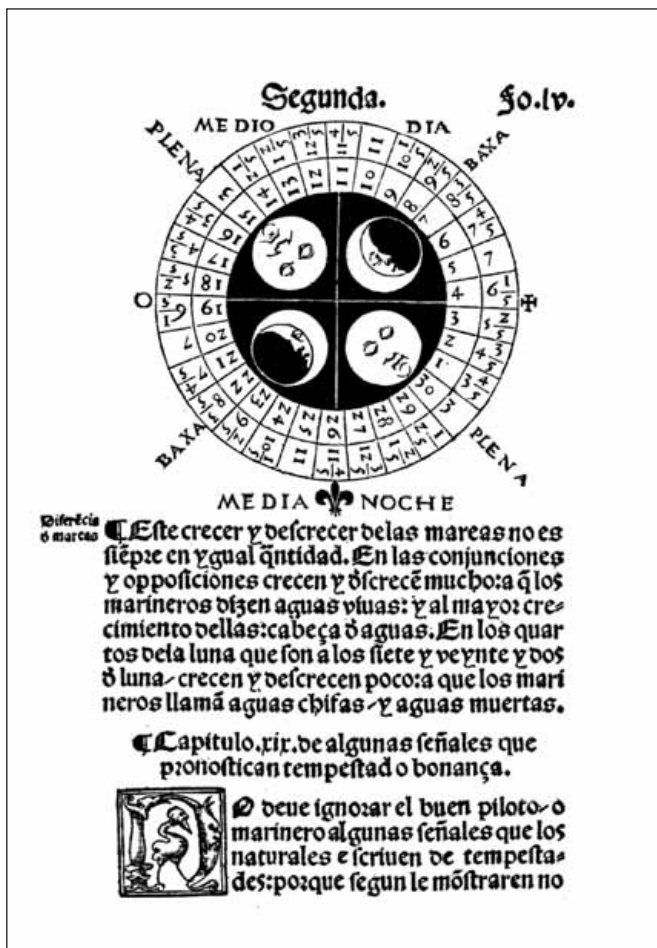
Pero en 1551 vio la luz en Sevilla otro conocido tratado, el *Breve Compendio de la Sphera y de la Arte de navegar*, de Martín Cortés, que su autor escribía desde 1545, dedicado al emperador Carlos; diez años más tarde se tradujo al inglés, y al igual que los tratados de Pedro de Medina —a quien Cortés disputa en el prólogo la primacía como autor de un compendio sobre el arte de navegar—, gozó de gran difusión¹⁸; se imprimieron nueve ediciones en inglés, la última en 1630. En el prólogo, el cosmógrafo aragonés, natural de Bujaraloz (Zaragoza) pero afincado en Andalucía, se lamenta de la ignorancia de los pilotos: «Cuánto más dificultoso le pareciera al mismo Salomón si el día de hoy viera cómo pocos o ninguno de los pilotos saben apenas leer y con dificultad quieren aprender y ser enseñados».

En su obra, Martín Cortés explica, con una idea nueva entonces, el fenómeno de la variación de la aguja magnética por la existencia de un polo distinto del polo del mundo, donde residía una virtud atractiva del imán.

En 1581 se publicó el ya citado *Compendio de la Arte de Navegar* de Rodrigo Zamorano, «Astrólogo y Matemático, y Cosmógrafo de la Magestad Católica de Don Felipe Segundo Rey de España, y su Catedrático de Cosmografía en la Casa de la Contratación de las Indias de la ciudad de Sevilla», dedicado al Presidente del

¹⁷ Principalmente al francés, cuya primera edición apareció en 1554, reimpresión en 1561, 1569, 1573, 1576, 1577, 1579, 1583, 1615, 1628 y 1633; al italiano, 1553, 1554, 1555, 1569, y 1609; al holandés, 1580, 1589, 1592 y 1598; y al inglés, 1581 y 1595.

¹⁸ Se reimprimió en castellano en 1556, en facsímil por la Institución «Fernando el Católico» en 1945, en transcripción por el Museo Naval de Madrid en 1990 y la Universidad de Valencia en 1996. Ediciones en inglés aparecieron en 1561, 1572, 1579, 1584, 1589, 1596, 1609, 1615 y 1630.



14.2. Diferencia de mareas (Martín Cortés: Breve Compendio de la Sphera y de la Arte de Navegar, fol. lv): bello folio donde se aprecia el tipo de letra gótica de imprenta empleado por Antón Álvarez (Sevilla, 1551).

Consejo Real de las Indias. En el prólogo al lector, el cosmógrafo destaca entre las virtudes de su tratado las novedades que incluye, en particular una nueva tabla de la declinación del sol mucho más correcta que las anteriores. La obra se reeditó cinco veces hasta 1598, y fue traducida al inglés por Wright en 1610.

Zamorano tuvo una participación destacada en la enmienda de los instrumentos y cartas de navegación que, impulsada por Juan de Herrera, inició Pedro Ambrosio de Ondériz y llevó a cabo García de Céspedes, ambos cosmógrafos mayores del Consejo de Indias. El cosmógrafo vallisoletano realizó muchos e importantes trabajos, según explica él mismo en varios memoriales dirigidos al monarca, reclamando aumento de sueldo.

No sólo los matemáticos y cosmógrafos, sino también prestigiosos juristas escribieron tratados de navegación. Andrés de Poza, abogado del señorío de Vizcaya, que se había educado nueve años en la Universidad de Lovaina y diez en la de Salamanca, es autor de una *Hidrografía*, publicada en Bilbao en 1585, «la más curiosa que hasta aquí ha salido a la luz, en que demás de un derrotero general, se enseña la navegación por altura y derrota, y la del Este-Oeste: con la graduación de los puertos y la navegación al Catayo por cinco vías diferentes», utilizando datos sacados de textos náuticos italianos, franceses, ingleses y flamencos. El doctor Diego García de Palacio, jurista montañés, del Consejo de Su Majestad y su oidor en la Real Audiencia de México, publicó en dicha ciudad, en 1587, su libro *Instrucción náutica, para el buen uso, y regimiento de las naos, su traça, y gobierno conforme a la altura de México*, del que trataremos en la construcción de navíos. Y el valenciano Pedro de Syria, catedrático de jurisprudencia civil de aquella universidad, publicó en 1602 su *Arte de la verdadera navegación*, en donde expresa opiniones novedosas sobre la declinación magnética de las agujas y señala los abusos de los maestros de hacer cartas.

Algunos otros tratados estaban dedicados a describir instrumentos. Sobre el uso de la ballestilla publicó Simón y Tovar, médico y naturalista sevillano, su *Examen i censura sobre el modo de averiguar las alturas de las tierras por la altura de la Estrella del Norte tomada por la ballestilla* (Sevilla, 1595), en el que critica la excesiva afición de los mareantes al uso de la ballestilla, los motivos de esa afición y las razones para reprobarla, con rigor matemático.

Con los *Regimientos de Navegación* del burgalés Andrés García de Céspedes, escritos a finales del siglo XVI e inicios del XVII, el arte de navegar alcanza las mayores cotas, iniciándose después un marcado declive en la actividad náutica. El Cosmógrafo Mayor del Consejo de Indias, en su magnífico manuscrito coloreado¹⁹ *Regimiento de tomar la altura del polo*, y en su libro *Regimiento de Navegación*, con una segunda parte de *Hydrografía*²⁰, publicado en 1606 y aprobado por el doctor Ferrofino, «Catedrático de Matemáticas de Su Magestad», en febrero de 1602, explica que su antecesor en el cargo, Ondériz, envió un memorial al monarca advirtiéndole de los defectos que tenía el padrón de la navegación de la carrera de Indias depositado en la Casa de la Contratación, al igual que el mapa universal «por averle prevaricado los Portugueses con sus pretensiones, y que por ser aora todo del rey nuestro

¹⁹ En la portada del manuscrito *Regimiento de tomar la altura del polo*, Biblioteca Nacional de Madrid, Ms. 3030, figura una dedicatoria a Felipe «III» (con un papelito pegado encima de «II») de García de Céspedes, al servicio del Archiduque Alberto, y en otro papel pegado añade «Cosmógrafo Mayor», reflejando sus cambios de situación profesional; aparece una fecha, 1598, que corresponde a la terminación, pero debió de empezarlo antes de 1593.

²⁰ L. ALBUQUERQUE, en sus libros *Astronomical Navigation e Instrumentos de Navegação*, ambos publicados en Lisboa (1988), analiza la importante contribución a la cosmografía realizada por García de Céspedes con el trabajo publicado en su *Regimiento de navegación*.

Señor, avría lugar de hazer la verdadera descripción del dicho Mapa universal». Felipe II, aconsejado por Juan de Herrera, ordenó que en Sevilla se recogiese toda la información que los pilotos pudiesen proporcionar e impulsó una reforma en profundidad de los instrumentos y cartas de navegación ibéricas²¹, llevada a cabo por Ondérez y García de Céspedes, que recoge en los citados textos, ayudados por los cosmógrafos y pilotos de la Casa de la Contratación, especialmente por Rodrigo Zamorano.

En sus tratados, García de Céspedes se refiere a los trabajos de Pedro Núñez, Zamorano, Copérnico, Tycho Brahe y demás científicos de la época.

Muchos tratados de navegación no llegaron a publicarse. Un buen ejemplo es el *Quatri partitu en Cosmographía práctica*, más conocido como *Espejo de navegantes*, del cosmógrafo extremeño Alonso de Chaves; o el *Arte de marear*, compuesto en 1564 por el bachiller Juan Pérez de Moya, que se conserva en la biblioteca del Real Monasterio de El Escorial. También merece destacarse el *Tratado del Arte de Navegar*²² escrito por el matemático y astrólogo Diego Pérez de Mesa (h. 1595), autor de varios textos científicos, aunque no llegó a ver publicado ninguno. El tratado, que parece dispuesto para ver la luz, lleva intercalados dibujos a pluma; está dividido en tres libros, y comienza como era habitual con la definición de lo que se entendía por arte de navegar; como ya hemos visto en otros autores, Pérez de Mesa insiste también en que el arte de navegar es lo que hoy llamamos una ciencia aplicada.

Entre los numerosos manuscritos que dejó el doctor Juan Cedillo Díaz, que sucedió a García de Céspedes como catedrático de la Academia Real Matemática en 1611 y ocupó el cargo hasta su muerte en 1625, se encuentra un *Tratado de la carta de marear geoméricamente demostrada*, escrito en 1616, y la traducción que hizo del latín al castellano de los dos libros del *Arte de Navegar* de Pedro Núñez.

Los libros de derrotas no llegaron a ver la luz, por no ser conveniente que los corsarios y quienes no fueren súbditos de los monarcas españoles conociesen su contenido. Así ocurrió con el *Itinerario de navegación de los mares y tierras occidentales*, escrito hacia 1575 por un experto navegante cántabro, el capitán Juan Escalante de Mendoza, en forma de diálogo y dedicado a Felipe II. En el prólogo aclara la razón que le movió a escribir su tratado: ayudar a los navegantes a conseguir una navegación más segura, evitando «los grandes riesgos, peligros y dolos que en ella suelen, y pueden suceder» por ignorancia, impericia o descuido de los capitanes, pilotos, maestros y marineros, que eran causa de frecuentes naufragios de naos mal regidas, con daños irreparables y pérdidas de gentes y haciendas.

Escalante de Mendoza no consiguió ver publicado su *Itinerario*, por no lograr que le fuera concedido el permiso para su impresión, ya que el Consejo de Indias no

²¹ M. I. VICENTE MAROTO y M. ESTEBAN PIÑEIRO: *Aspectos de la ciencia aplicada en la España del Siglo de Oro*, cap. IX, «El Cosmógrafo Mayor del Consejo de Indias. La enmienda de las cartas de marear y la reforma de los instrumentos para la navegación», pp. 398-462, con un apéndice que recoge la transcripción de 23 documentos.

²² Biblioteca Nacional de Madrid, Ms. 11078, fols. 1-197v.

consideró conveniente que las detalladas derrotas fueran conocidas por extranjeros. Pero de esos manuscritos se hacían varias copias, que controlaba el Consejo y a las que tenían acceso determinadas personas, en función de su cargo.

En el precioso libro de Baltasar Vellerino de Villalobos —presbítero, doctor en sacros cánones y maestro en artes y filosofía— titulado *Luz de navegantes. Donde se hallarán las derrotas y señas de las partes marítimas de las Indias, Islas y Tierra firme del mar océano*²³ (1592), hay muchas analogías con el *Itinerario de Navegación* de Juan Escalante; según denuncia su hijo, Alonso de Escalante, Baltasar Vellerino debió de manejar una copia, por haber sido mayordomo del arzobispo de México don Pedro Moya de Contreras, que fue Presidente del Real Consejo de las Indias, en donde estaba depositado el libro de Escalante. En *Luz de navegantes*, el autor insiste en la ignorancia de los pilotos. Relata que el año 1562 quiso pasar a las Indias en la flota del famoso general Pedro Meléndez y da cuenta de sus navegaciones por el Nuevo Mundo. Se aficionó al arte de navegar siendo estudiante en la Compañía de Jesús de Sevilla, ciudad de donde era natural. Su tratado es eminentemente práctico, pues para obra especulativa era, en su opinión, muy competente y acertada el *Regimiento* de Zamorano.

El libro de Vellerino de Villalobos contiene 113 dibujos a pluma, y a página entera, de enclaves marítimos desde España a las Indias; tampoco consiguió licencia de impresión, y cuando la solicitó, el hijo de Escalante presentó una querrela ante el Consejo. Muchos otros derroteros se conservan inéditos en los principales archivos y bibliotecas españolas, conteniendo información muy preciada en su época.

A medida que nos adentramos en el siglo xvii se puede observar que los autores de textos náuticos emplean un tono cada vez más pesimista, lamentando, además de la deficiente formación de los pilotos, la escasez de medios, en términos a veces dramáticos, como Antonio de Nájera, oriundo de Castilla aunque natural de Lisboa, que en su *Navegación especulativa y práctica*, escrita en lengua castellana y publicada en Lisboa en 1628 (reimpresión en Madrid en 1669), lamenta amargamente la ignorancia y torpeza de los pilotos españoles.

1.3. Instrumentos de navegación

El rumbo, la distancia, la latitud y la longitud constituyen, en palabras de Martín Fernández de Navarrete —gran figura de la Ilustración española, marino, historiador, literato y filósofo—, los cuatro términos de la navegación. Su conocimiento más exacto posible ha sido el objetivo perseguido por los tratadistas náuticos de todos los tiempos y para su determinación se utilizaban en el siglo xvi diferentes instrumentos.

Entre ellos, la brújula es el más importante. Denominada por los marineros «aguja de marear», o simplemente «aguja», está constituida por una rosa dividida en

²³ Biblioteca de la Universidad de Salamanca, Ms. 291. Edición facsímil, Museo Naval de Madrid-Ediciones Universidad de Salamanca, 1984, con estudio y comentarios de M.^ª Luisa MARTÍN-MERÁS VERDEJO.

vientos o rumbos, que en su forma más habitual tiene 32, por lo que cada una de las divisiones correspondía a $11^{\circ} 15'$; el rumbo norte normalmente era decorado con una flor de lis. Por debajo de la rosa, fabricada en cartón, eran colocados los hierros o agujas magnetizadas, y el conjunto giraba sobre un pivote; con el tiempo, el magnetismo de las agujas iba disminuyendo y era necesario tocarlas con la llamada «piedra de cebar», un simple trozo de magnetita. Con la aguja magnética se mantenía el rumbo o ángulo entre la proa de la embarcación y el norte magnético que indicaba el instrumento.

Para determinar la latitud mediante la altura de los astros —el ángulo formado por el Polo (Norte o Sur, según el hemisferio) sobre el horizonte del mar—, los navegantes utilizaban modelos simplificados del astrolabio y del cuadrante, cuyo uso se había generalizado entre los astrónomos medievales. Como los polos no están marcados en el cielo, se recurrió a las estrellas fijas —«medir estrellas»— que se encontraban en su vecindad. Para el hemisferio norte, los navegantes recurrieron a la estrella polar (que dista casi un grado del Polo Norte), mientras que para el otro hemisferio se eligió la de la constelación Crucis (Cruz del Sur); en este caso se tomaba la altura de la estrella sobre el horizonte y se añadían 30° , que es la distancia aproximada a la que está el Polo Sur, y obtenían de este modo la latitud del lugar.

El astrolabio náutico, construido en latón, acabó por quedar reducido a una corona circular o círculo graduado, de unos 20 cm de diámetro, una alidada o dioptra con las pínulas, y un anillo de suspensión; el cuadrante náutico, en madera, a un sector de cuarto de círculo graduado periféricamente, cuyo radio oscilaba entre 15 y 20 cm, con dos pínulas y un hilo de plomo²⁴; ambos instrumentos debían ser muy pesados, para que soportasen mejor el movimiento del navío. Preferentemente, el cuadrante se utilizaba para observar la estrella polar y el astrolabio el sol; en este caso, en lugar de mirar directamente, lo que era incómodo para la vista, el observador suspendía el astrolabio, como si estuviese usando una balanza, y manejaba la alidada de manera que la luz del sol, entrando por la pínula superior, se proyectase en el orificio de la pínula inferior: a esta operación se le llamaba «pesar el sol». Las lecturas en una escala graduada de 0 a 90° daban inmediatamente la altura del astro sobre el horizonte. Debido a la dificultad de mantener estable su plomada durante las observaciones, el cuadrante náutico fue cayendo en desuso.

La ballestilla era el tercer instrumento utilizado en la medida de alturas. Se componía de una vara de madera de aproximadamente 1 m de largo, llamada virote, por

²⁴ Sobre instrumentos de navegación pueden consultarse numerosos tratados, como los de Luís de ALBUQUERQUE: *Instrumentos de navegação* o *Astronomical navigation*, Lisboa, 1988; *Introdução à História dos descobrimentos portugueses*, Lisboa, 1989, 4.^a ed.; *Historia de la navegación portuguesa*, Madrid, Ed. Mapfre, 1991. Manuel SELLÉS: *Instrumentos de navegación. Del Mediterráneo al Pacífico*, Madrid, 1994, en una magnífica edición. A. ESTÁCIO DOS REIS: «A Arte de navegar», en *El Tratado de Tordesillas y su época*, 3 vols., Valladolid, 1995, pp. 1007-1019.

donde corría otra vara más corta, la sonaja, también de madera; normalmente se disponía de tres o cuatro sonajas, que eran usadas conforme a la altura del astro. El observador, mirando por uno de los extremos del virote, hacía correr la sonaja, de modo que por la parte superior de ésta divisase el astro, mientras que por la inferior apuntaba al horizonte del mar. La altura del astro era medida en una escala graduada en el virote (había una escala diferente para cada sonaja, en las diversas caras del virote); cuando observaba el sol, para no cegarse, efectuaba la operación de espaldas a él.

A finales del siglo xvi, probablemente a partir del método de observación del sol de espaldas con la ballestilla, se desarrolló un nuevo y más preciso instrumento para medir alturas, el cuadrante de Davis o cuadrante inglés²⁵, que se usó con éxito hasta mediados del siglo xviii.

Otros instrumentos náuticos fueron mucho menos utilizados, como el kamal o tavoletas de la India (más habitual entre los navegantes portugueses), de fundamento semejante a la ballestilla, o el anillo náutico. Este último estaba destinado exclusivamente a tomar la altura del sol; consistía en un anillo perforado por un diminuto orificio, con el fin de que lo atravesara un rayo de sol que marcara un pequeño círculo iluminado sobre la escala graduada en su cara interior; su limitado uso se debió a la dificultad de su construcción.

Pedro Nunes —excelente matemático portugués nacido en 1502—, para mejorar y precisar las lecturas, ideó el nonio, que podía adaptarse al astrolabio y al cuadrante, pero realmente parece que sólo pudo ser utilizado en instrumentos de gran tamaño, como el que fue mandado construir por el astrónomo Tycho Brahe, pero no en los de tamaño reducido, de unos 20 cm de radio, que se utilizaban en la navegación²⁶, dado el tipo de grabación que se utilizaba en la época. El procedimiento de Nunes fue mejorado por Clavio, y llegó a la configuración actual con Pierre Vernier, quien lo describe en un trabajo de 1634, pero no comenzó a emplearse hasta finales del siglo xvii, generalizándose a partir de mediados del xviii.

Los pilotos llevaban además relojes de arena, llamados ampollitas, que solían ser de media hora, aunque los había de una o dos horas; compases, para utilizar las

²⁵ El primer modelo propuesto consistía en una regla graduada sobre la que se hacía deslizar un travesaño en forma de arco; en un extremo de la regla había una pínula a través de la cual se podía observar el horizonte, al tiempo que se deslizaba el travesaño, de forma que la sombra arrojada por su extremo superior sobre la pínula coincidiese con éste: la altura se leía entonces sobre la escala de la regla. Con este tipo de cuadrante sólo podían medirse alturas del sol entre los 15 y los 45°, por lo que Davis propuso un segundo modelo, igual al anterior pero por debajo de la regla, en el que opuesto al travesaño existía otro fijo en forma de arco, graduado, y que llevaba una pínula móvil.

²⁶ A. ESTÁCIO DOS REIS: «O único exemplar vivo do nóio de Pedro Nunes?», *Revista de la Academia de Marinha*, Lisboa, 1995, y en *Medir estrelas*, CCT Correios de Portugal, Lisboa, 1997. El autor, después de una exhaustiva búsqueda, ha encontrado un único ejemplar de cuadrante que dispone de nonio, fechado en 1595, en el Instituto y Museo de Historia de la Ciencia de Florencia, fabricado por James Kynnuyn, activo en Londres entre 1569 y 1610.

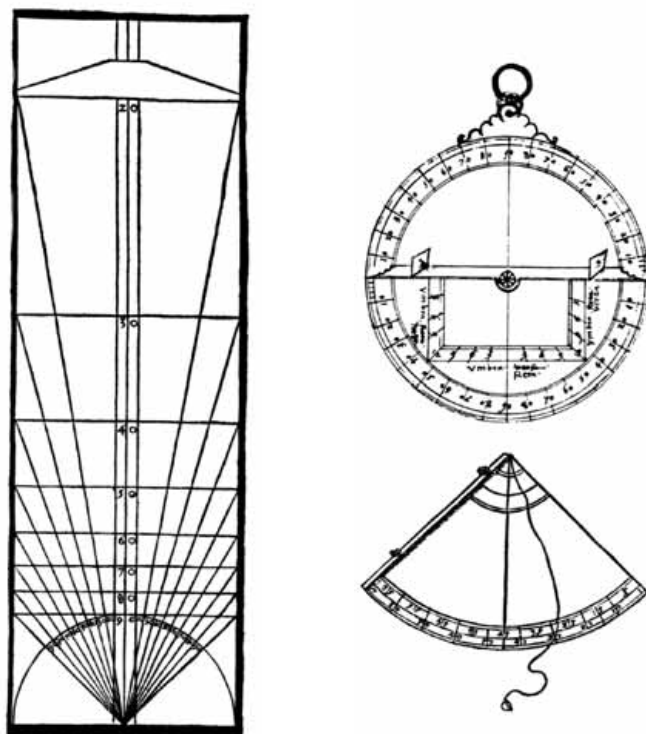


14.3. Navegantes: «pesando el sol» con el astrolabio (medición de su altura) y manejando la balles-tilla (observación de la estrella Polar y de la posición de las guardas). Ilustraciones que aparecen en obras de Pedro de Medina.

cartas de marear, y sondas, con sus plomos y escandallos, largas cuerdas que permitiesen saber la cantidad de agua que había por debajo de la quilla y también recoger muestras del fondo marino.

La corredera, aparato esencial en la navegación de estima, merced al cual se conoce la velocidad del buque y por consiguiente el camino o distancia navegada por él, apareció descrita por primera vez en *A Regiment for the sea* de William Bourne (1574). Consistía en un pequeño flotador que se lanzaba al mar en supuesta inmovilidad, cuyo alejamiento, al separarse de él el navío, se medía por un cordel fijo por uno de sus extremos y que, arrollado a un carretel a bordo, se desarrollaba procurando no tensarlo sino arrollando lo que buenamente pidiera el singlar del barco; al cabo de un tiempo medido con la ampolleta, la cantidad de brazas o cables, marcados con nudos, indicaba en millas por hora el andar. Pero debido a la poca precisión que podía tener en la época, su empleo no se generalizó hasta el último cuarto del siglo xvii.

Los resultados que se obtenían en las medidas realizadas con los instrumentos de navegación eran poco satisfactorios debido, además de los errores propios de los instrumentos por defectos en su construcción, a las difíciles condiciones en las que



14.4. Instrumentos náuticos: ballestilla y su graduación (M. Cortés, *Breve Compendio de la Sphera y de la Arte de Navegar*, Sevilla, 1551), astrolabio (A. de Chaves, *Espejo de Navegantes*, manuscrito de h. 1520-1538) y cuadrante (D. García de Palacio, *Instrucción náutica*, México, 1587).

se debían realizar las observaciones, sujetas a los balanceos producidos por el movimiento del navío. Por ello, continuamente trataron de reformarse y perfeccionarse.

I.4. La determinación de la longitud

El problema de la determinación de la latitud por métodos astronómicos estaba resuelto desde finales del siglo xv, y en los manuales de cosmografía o en los regimientos de navegación se incluían tanto las reglas como las tablas para determinar la latitud geográfica: regimientos de la altura del sol al mediodía, de la estrella polar o del crucero del sur.

La determinación de la longitud en el mar, que unos llamaron punto fijo y otros la distancia o navegación del Este-Oeste, fue un problema que a lo largo de los siglos xvi y xvii parecía irresoluble, semejante al hallazgo de la piedra filosofal en la química y a la cuadratura del círculo en geometría. Numerosos científicos y técnicos se afanaron en encontrar un método preciso y fiable para determinar la longitud, basado en observaciones astronómicas, que precisaba además notables mejoras en la

mecánica y en la óptica que permitieran disponer de relojes e instrumentos más perfectos. Como es sabido, hasta el siglo XVIII no fue posible la determinación de la longitud, a pesar de que los fundamentos teóricos se conocían, por lo que generalmente se hacían los cálculos a estima.

A lo largo de los siglos XVI y XVII se propusieron varios procedimientos²⁷. La ansiedad con que en la época cosmógrafos y pilotos deseaban encontrar un proceso para la obtención de las longitudes llevaba a que una misma idea se le podía haber ocurrido a varios hombres que se interesaban por la náutica, o que la tenían como profesión²⁸.

Sin duda hay que destacar al cosmógrafo Alonso de Santa Cruz, que en su *Libro de las longitudes*²⁹, escrito a mediados del siglo XVI, analiza detalladamente cada uno de los métodos conocidos en la época para determinar la longitud geográfica de un lugar: hasta doce procedimientos, algunos de ellos teóricamente correctos pero difíciles de llevar a la práctica. Son particularmente interesantes sus reflexiones sobre «el de los eclipses de sol y de luna» —veinte años más tarde, López de Velasco llevaría a cabo un proyecto para obtener resultados útiles con este sistema— y su exposición del llamado «de variación de la aguja magnética». El método de los eclipses es un procedimiento sencillo; consistía en observar un eclipse de sol o de luna desde distintos lugares y anotar la hora del comienzo o del final del fenómeno: la diferencia entre las horas locales en que se producía el eclipse en esos lugares, transformada en grados a razón de 360 cada 24 horas, proporcionaba directamente la longitud. Pero de esta forma, la determinación se realizaba cuando se reunían las dos anotaciones, y además era necesario que el fenómeno a observar fuese frecuente y observable con relativa comodidad dentro de un barco en movimiento. Como mejor solución, propone la utilización de relojes que dieran medidas exactas del tiempo: conocida exactamente la hora de salida de un puerto, por medio de una observación astronómica, y ajustando a ella el reloj, averiguando por otra observación semejante la hora en el punto de llegada y comparada con la del reloj, la diferencia permitiría dar la de longitud entre los dos puntos; esta idea, que ya había expresado Fernando Colón, era también difícil de llevar a la práctica, como señala Santa Cruz: «Por vía de relojes será dificultosa cosa el saber de la longitud, con la precisión que se requiere»; y, así, este método no pudo ponerse en práctica hasta mediados del siglo XVIII, cuando se dispuso del reloj adecuado. Por todo ello, incluso pilo-

²⁷ M. I. VICENTE MAROTO: «El Arte de navegar», en *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla*, J. M. LÓPEZ PIÑERO (dir.), vol. III, pp. 346-381.

²⁸ L. de ALBUQUERQUE: «Contribuição das navegações do séc. XVII para a conhecimento do magnetismo terrestre», *Revista da Universidade de Coimbra*, vol. XXIV, 1970.

²⁹ Publicados conjuntamente con el *Islario general* por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas-Instituto Gonzalo Fernández de Oviedo, 1983-84, 2 vols., con estudio introductorio de Mariano CUESTA: «Alonso de Santa Cruz y su obra cosmográfica».

tos que poseían una buena formación teórica fijaban la posición a estima con mayor precisión que por cualquier vía matemática.

A lo largo de todo el siglo XVI se presentaron muchas solicitudes para que en el Consejo Real de Indias se examinaran diferentes instrumentos ideados para la determinación de la longitud. En muchos casos se trataba de instrumentos muy semejantes, con alguna ligera variación en su graduación o en su forma. El propio Aposentador Mayor de Palacio y arquitecto real Juan de Herrera también construyó instrumentos de su invención, tratando de conseguirlo.

Aunque conocidos navegantes y prestigiosos científicos manifestaron sus opiniones sobre la imposibilidad práctica de resolver el problema, los monarcas españoles y otros gobiernos extranjeros, dada su importancia, ofrecieron cuantiosos premios y gastaron importantes sumas de dinero en proyectos irrealizables. Felipe II decretó un premio, en 1598, de seis mil ducados de renta perpetua al año, dos mil de renta vitalicia y mil de ayuda de costa³⁰, mantenido por Felipe III, para quien solucionase el difícil problema. El propio Galileo optó al premio, a principios del siglo XVII, con su anteojo y un método basado en su descubrimiento de que los satélites de Júpiter se eclipsaban periódicamente al cruzar por detrás del planeta; conocido el periodo de revolución de los satélites, era fácil preparar tablas que suministrasen las horas en que, desde un meridiano de referencia dado, se veían ocultarse tras el disco de Júpiter. Sin embargo, a bordo de un navío, con el balanceo, esa observación era imposible.

Otros prestigiosos científicos también trataron de determinar la longitud con diferentes instrumentos. Así, los cosmógrafos de la Casa de la Contratación Rodrigo Zamorano y Villaruel mantuvieron un prolongado litigio por su invención, que ambos defendían como propia; el navegante Andrés del Río Riaño, que escribió un breve *Tratado de un instrumento por el cual se conocerá la nordesteación o noroesteación de la aguja de marear*, con el que pretendía resolver el problema; el doctor Juan Arias de Loyola, catedrático de la Academia de Matemáticas, en 1603 propuso revelar cinco secretos sobre la navegación, entre ellos la «invención de los grados de longitud, lo que vulgarmente llaman los marineros navegación del este al oeste»; el portugués Luís da Fonseca Coutinho, que en 1615 trabajaba para conseguir lo que llamaba «la aguja fija», es decir, sin variación en todas las partes del mundo; el capitán francés Juan de Mayllard también ofreció al rey el secreto de la graduación de la longitud de la navegación de este a oeste, a todas las horas del día con sol, en competición con el capitán Lorenzo Ferrer Maldonado. Y muchos otros científicos extranjeros presentaron diferentes memoriales al rey, tratando de conseguir su

³⁰ Los principales métodos propuestos para optar al premio se recogen en E. FERNÁNDEZ NAVARRETE: «Memoria sobre las tentativas hechas y premios ofrecidos en España al que resolviese el problema de la longitud en la mar», en *Colección de documentos inéditos para la historia de España*, vol. 21, Madrid, 1852, pp. 5-241.

recompensa, como el genovés Benito Escoto, en 1616; Michael Florent van Langren, cosmógrafo y matemático flamenco al servicio del monarca español en Bruselas, en 1632; y cinco años después, José Moura Lobo. Pero las experiencias resultaron un fracaso.

Miguel de Cervantes, que murió en 1616, en el *Coloquio de los perros* se hace eco de estos vanos intentos³¹, y después de referirse a un alquimista que pretendía haber hallado la piedra filosofal, con la que se haría muy rico, habla de las desgracias de un matemático que se lamenta en estos términos:

Veintidós años ha que ando tras hallar el punto fijo; y aquí lo dejo y allí lo tomo, y pareciéndome que ya lo he hallado y que no se me puede escapar en ninguna manera, cuando no me cato, me hallo tan lejos dél que me admiro; lo mismo me acaece con la cuadratura del círculo, que he llegado tan al remate de hallarla que no sé si puedo pensar cómo no la tengo ya en la faltriquera; y así es mi pena semejante a las de Tántalo, que está cerca del fruto y muere de hambre, y propinquo al agua y muere de sed: por momentos pienso dar en la coyuntura de la verdad, y por minutos me hallo tan lejos de ella, que vuelvo a subir al monte que acabé de bajar con el canto de mi trabajo a cuestras, como otro nuevo Sísifo.

II

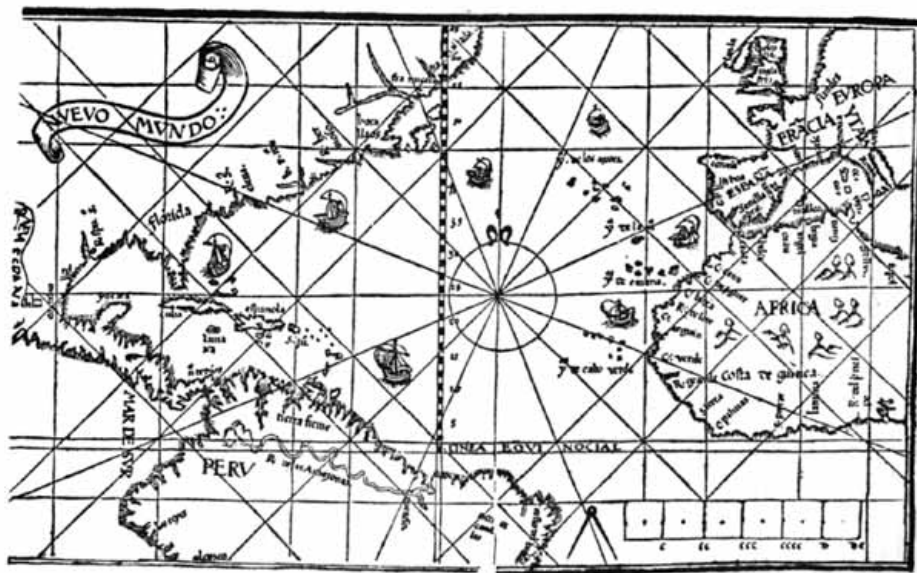
A MODO DE RESUMEN

En los inicios del siglo xvi se crearon en España importantes instituciones que sirvieron de modelo a otros países de nuestro entorno. El mejor ejemplo es la Casa de la Contratación de Sevilla, fundada en 1503 con el fin de controlar el tráfico y el comercio con América, donde se instruían y examinaban los pilotos de la carrera de Indias y se perfeccionaba la cartografía.

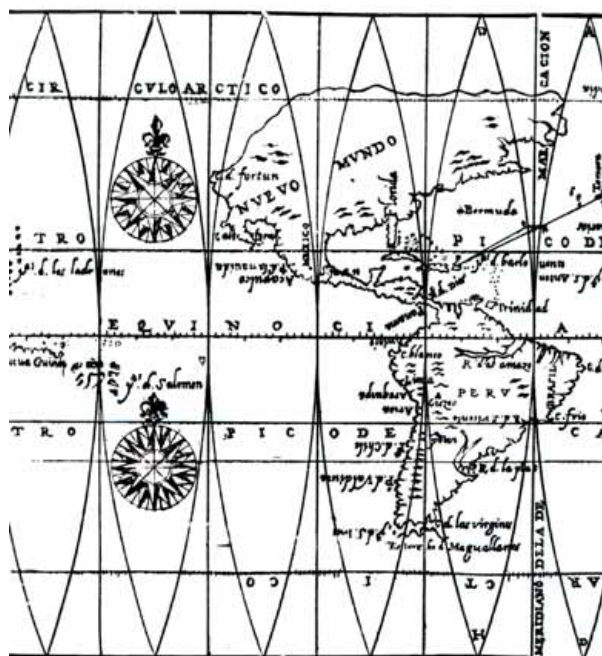
Varios de los *Tratados del Arte de Navegar* y los *Regimientos de navegación* —textos éstos más breves y de carácter eminentemente práctico que llevaban los pilotos en sus viajes— escritos por españoles fueron traducidos a las principales lenguas europeas; así, los textos de Pedro de Medina, Martín Cortés o Rodrigo Zamorano, alcanzaron una enorme difusión. Como acertadamente se ha dicho: «Europa aprendió a navegar con textos españoles».

Los instrumentos y las cartas de navegación se perfeccionaron y los monarcas españoles ofrecieron importantes premios a quienes fueran capaces de resolver los problemas planteados, como la determinación de la longitud, e idearan mejores instrumentos que aseguraran las navegaciones. Por otro lado, se construyeron naves fuertes y marineras. Todo el esfuerzo era poco, tal como advierte Juan de Herrera a Felipe II:

³¹ FERNÁNDEZ NAVARRETE, *op. cit.*, pp. 170-171.



14.6. *Carta náutica «plana»* impresa en *Breve Compendio de la Sphera y de la Arte de Navegar* (Sevilla, 1551), de Martín Cortés, natural de Bujaraloz (Zaragoza)



14.7. *El Nuevo Mundo*. Detalle del mapamundi, con la línea de demarcación, impreso en la *Instrucción náutica* de Diego García de Palacio (México, 1587)

pues es en beneficio universal, considerando que por cualquier error en las dichas cartas se pierde cantidad de haciendas, bajeles y personas, por cuya razón no se debe reparar en el gasto.

El arte de navegar en el siglo xvi fue una etapa preparatoria de la náutica moderna, en la que la navegación comenzó a apoyarse en conocimientos científicos y a disponer de sus primeros instrumentos precisos. Después de la crisis del siglo xvii, el paso del «arte» de navegar a la «ciencia» de la navegación no se produciría hasta mediados del siglo xviii, con la obra de Jorge Juan. Su *Compendio de Navegación*, manual imprescindible en todas y cada una de las escuelas de náutica que abrirían sus puertas durante la Ilustración, y que en su reedición de 1790 incluía los nuevos métodos de determinación de la longitud, marca el cambio a una navegación más científica y la renovación de los estudios náuticos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBUQUERQUE, Luís: *Historia de la navegación portuguesa*, Madrid, Mapfre, 1991.
- CONTENTE DOMINGUES, F., y otros: *Dicionário de história dos Descobrimentos portugueses*, 2 vols., Lisboa, Círculo de Leitores, 1994.
- CUESTA DOMINGO, Mariano: *La obra cosmográfica y náutica de Pedro de Medina*, Madrid, BCH/Banca Corporativa, 1998.
- FERNÁNDEZ DURO, Cesáreo: *Disquisiciones náuticas*, 6 vols., Madrid, 1880. Reed. por el Instituto de Historia y Cultura Naval, Ministerio de Defensa, Madrid, 1996.
- FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, FRANCISCO: *Astronomía y navegación en España*, siglos xvi al xviii, Editorial Mapfre, 1992.
- FERNÁNDEZ NAVARRETE, Martín: *Colección de Documentos y Manuscritos compilados por*, Museo Naval de Madrid-Kraus-Thomson, 1971.
- *Colección de los viajes y descubrimientos que hicieron por mar los españoles desde fines del siglo xv*, 5 vol. Madrid, Real Academia de la Historia, 1829-1859.
- *Historia de la náutica, y de las ciencias matemáticas*, Real Academia de la Historia, Madrid, 1846.
- GARCÍA FRANCO, Salvador: *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.
- GONZÁLEZ ALLER, J. I. (comp.): *Obras Clásicas de Náutica y Navegación*, CD-ROM, Colección Clásicos Tavera, Digibis, Madrid, 1998.
- GOODMAN, David: *El poderío naval español, Historia de la armada española del siglo xvii*, Barcelona, Ed. Península, 2001.
- LÓPEZ PIÑERO, José María: *El arte de navegar en la España del Renacimiento*, Barcelona, Ed. Labor, 1979.

- MANCHO DUQUE, M.^a Jesús (dir.): *La ciencia y la técnica en la época de Cervantes: textos e imágenes*, Ediciones Universidad de Salamanca en CD, 2005.
- PULIDO RUBIO, José: *El Piloto mayor de la Casa de la Contratación de Sevilla. Pilotos mayores, catedráticos de cosmografía y cosmógrafos*, Sevilla, CSIC, 1950.
- SELLÉS, Manuel: *Instrumentos de navegación. Del Mediterráneo al Pacífico*, Madrid, Museo Naval, 1994.
- VICENTE MAROTO, M.^a Isabel: «Alonso de Santa Cruz y el oficio de Cosmógrafo Mayor del Consejo de Indias», en *Mare Liberum*, n.º 10, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses, Lisboa, 1995.
- «El Arte de navegar», en *Felipe II, la Ciencia y la Técnica*, E. MARTÍNEZ RUIZ (dir.), Ed. Actas, Madrid, 1999, pp. 343-368.
- «El Arte de navegar», en *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla*, J. M. López Piñero (dir.), 4 vols., Valladolid, Junta de Castilla y León, vol. III, pp. 346-381.
- y Mariano ESTEBAN PIÑEIRO: *Aspectos de la ciencia aplicada en la España del Siglo de Oro*, Junta de Castilla y León, Valladolid, 1991; 2.^a ed. 2006.
- VV. AA.: *Obras españolas de náutica relacionadas con la Casa de la Contratación de Sevilla*, Museo Naval, Madrid, 1992.