

César Esteban*

NAVEGACIÓN Y ASTRONOMÍA EN EUROPA Y OCEANÍA EN LA ÉPOCA DE LA EXPEDICIÓN MAGALLANES-ELCANO

El comercio ha sido el motor principal de las grandes exploraciones geográficas. Entre los siglos XV y XVI, portugueses y españoles inauguraron las rutas de un comercio marítimo verdaderamente global, poniendo en contacto las principales áreas geográficas habitadas del planeta, siendo la astronomía un instrumento esencial y estratégico de dicha expansión. El uso de los astros para la navegación también fue desarrollado por otras culturas. Un ejemplo fascinante es el de la navegación tradicional en las islas del Pacífico, un vasto entorno geográfico que la expedición Magallanes-Elcano descubrió para el mundo occidental.

Navigation and astronomy in Europe and Oceania at the time of the Magellan-Elcano expedition

Trade has been the main engine of the great geographical explorations. Between the 15th and 16th centuries, the Portuguese and Spanish inaugurated the routes of a truly global maritime trade, connecting the main inhabited geographic areas of the planet, with astronomy being an essential and strategic instrument of that expansion. The use of the stars for navigation was also developed by other cultures. A fascinating example is that of traditional navigation in the Pacific Islands, a vast geographical environment that the Magellan-Elcano expedition discovered for the Western world.

Palabras clave: *determinación de la latitud, instrumentos de navegación, técnicas de navegación, astronomía de posición, islas del Pacífico, navegación tradicional polinesia.*

Keywords: *determination of latitude, navigation instruments, navigation techniques, positional astronomy, Pacific Islands, traditional Polynesian navigation.*

JEL: B11, N73, N77.

* Departamento de Astrofísica, Universidad de La Laguna e Instituto de Astrofísica de Canarias.

Contacto: cel@iac.es

Versión de julio de 2022.

<https://doi.org/10.32796/ice.2022.927.7480>

1. Introducción. La navegación marítima actual y los sistemas de posicionamiento global (GPS)

Como se discute en otros trabajos del presente monográfico especial, la expedición Magallanes-Elcano inauguró el comercio auténticamente global, terminando de conectar todas las principales áreas geográficas del planeta. Este comercio mundial, necesariamente marítimo, incentivó una enorme inversión de medios humanos, económicos y tecnológicos. Se mejoró la construcción naval y se desarrollaron nuevos instrumentos y métodos de navegación, donde la astronomía tuvo un papel fundamental y estratégico dentro de la competición entre los distintos Estados europeos durante la expansión comercial, imperial y colonial que se desarrolló sobre todo entre los siglos XV y XVIII. Desde entonces, el comercio marítimo no ha hecho más que crecer. Según la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, por sus siglas en inglés), actualmente más del 90 % del tráfico de mercancías mundial se realiza por vía marítima. Esto se debe a varias razones, siendo la más importante la enorme capacidad de los barcos actuales, sobre todo de los superpetroleros, auténticos mastodontes de la ingeniería humana, que pueden llegar a alcanzar una capacidad de más de medio millón de toneladas, pero también a la versatilidad de los buques, que pueden adaptarse perfectamente tanto a las características de las mercancías como a la ruta por la que se plantea su uso. El transporte de viajeros se encuentra en una situación bien diferente pues, a partir de mediados del siglo XX, con el desarrollo de los aviones de reacción, la navegación aérea ha alcanzado una hegemonía indiscutible en este aspecto, transportando un volumen muchísimo mayor de personas, quedando restringido el transporte marítimo de pasajeros a trayectos de corta distancia entre islas o hacia islas cercanas a la costa y a los cruceros de placer.

Las vías de comunicación por mar se distribuyen por todos los mares del planeta pudiendo cubrir largas

distancias entre continentes cruzando océanos. Hay varias zonas del planeta donde el tráfico marítimo es especialmente intenso. El estrecho de Malaca, considerado como el extremo occidental del océano Pacífico, une el mar de China Meridional con el mar de Andamán y concentra el 30 % del comercio marítimo internacional, conecta las grandes economías consolidadas de Asia (China, Japón, Corea del Sur y Taiwán) con las emergentes de ese mismo continente (India, Malasia, Singapur y Tailandia). El 20 % del tráfico mundial lo soporta el estrecho de Ormuz, debido casi únicamente al transporte de petróleo mediante buques de enorme capacidad que distribuyen la producción de los países del golfo Pérsico por el resto del mundo. El canal de Suez es otro de los lugares «calientes» del tráfico marítimo global, pues conecta, de la forma más corta posible, los mercados asiáticos y los europeos, absorbiendo un 15 % del tráfico mundial. Finalmente, por el canal de Panamá, que conecta los océanos Pacífico y Atlántico, circula un 5 % del comercio marítimo.

La navegación de alta mar u oceánica, que se realiza cuando se pierde el contacto de la visión de la costa durante largos períodos de tiempo (al contrario de la navegación denominada «de cabotaje»), necesita métodos precisos para conocer la posición del buque en cada momento. Este problema ha sido de una enorme importancia, incluso estratégica, a lo largo de los siglos y aquí es donde la astronomía ha jugado un papel fundamental. En la actualidad, la posición de un buque puede conocerse muy fácilmente y con una enorme precisión mediante los sistemas de posicionamiento global (conocidos como GPS, acrónimo del término inglés Global Positioning System). El uso de los receptores GPS es algo generalizado desde finales del siglo XX. La idea de lograr un sistema de posicionamiento preciso sobre la superficie de la Tierra se comenzó a plantear a comienzos de la era espacial, en los años 50 del siglo XX, mediante el uso de una red de satélites con los que se pudiera triangular la posición desde cualquier lugar geográfico. El método con el que un receptor GPS calcula la posición

es muy sencillo conceptualmente. Para obtener una medida de las coordenadas de un punto necesitamos tener, al menos, cuatro satélites en la porción de cielo visible. La posición de cada satélite se conoce con mucha precisión y cada uno de ellos lleva un reloj atómico de cesio muy estable que se sincroniza periódicamente con el resto. Cuando un receptor GPS recibe la señal radio de los satélites visibles, el retraso con el que llega cada una de ellas permite determinar las tres coordenadas espaciales de la posición del receptor y, por lo tanto, obtener su longitud, latitud y altura sobre el nivel del mar.

Aunque hubo un intento inicial en los años 60 con la red de siete satélites TRANSIT, el primer satélite con sistema GPS se lanzó en 1974, pero no disponía de un reloj interno de la calidad adecuada. Fue en 1985 cuando estuvo disponible la primera constelación (red) de 11 satélites GPS con relojes atómicos de cesio. El sistema fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, siendo actualmente la Fuerza Espacial de los Estados Unidos la encargada de su explotación. El sistema GPS constaba, a fecha de enero de 2021, de 31 satélites operativos, pudiéndose obtener una precisión máxima de unos 30 cm, aunque lo habitual es que sea de unos pocos metros. La Unión Soviética también desarrolló su propio sistema de posicionamiento global, el GLONASS, que comenzó a desarrollarse a partir de 1982. Actualmente es la Federación Rusa la encargada de su mantenimiento, dispone de 24 satélites en órbita y su precisión se sitúa entre los cuatro y siete metros. La Unión Europea y la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés) también tienen su propio sistema de posicionamiento global, el proyecto Galileo, que dispone de una tecnología independiente de sus homólogos estadounidense y ruso. A fecha de febrero de 2021 se encontraban 22 satélites en vuelo, aunque todavía no está completado. Cuando esté operativo proporcionará una precisión de un metro en la versión gratuita y de solo un centímetro en la versión de pago. Como vemos, Galileo será el sistema GPS más preciso disponible.

2. La navegación europea y astronomía en la época de la expedición Magallanes-Elcano

Llegar a la precisión de los sistemas GPS es fruto del continuo avance científico desarrollado por la humanidad desde el Renacimiento, impulsados, en gran medida, por los retos económicos y comerciales de los distintos Estados. Hasta el siglo XV, las vías marítimas de comercio europeas (excepto algunas desarrolladas por los vikingos durante el Medievo) eran de cabotaje y restringidas a los mares Mediterráneo y Báltico y la fachada atlántica del continente. A partir de 1418, los portugueses, impulsados por la situación de desabastecimiento de ciertos bienes como trigo, oro, esclavos o especias debido a la presión otomana sobre los puertos del Mediterráneo oriental, comienzan una expansión hacia África y Asia. Para ello necesitarán desarrollar la navegación oceánica de larga distancia, algo que vendrá impulsado de forma definitiva por las políticas del infante Enrique (posteriormente conocido como el «Navegante») centradas en la mejora de la construcción naval y en las técnicas de navegación. Con los viajes de Colón, llevados a cabo entre 1492 y 1502, el reino de Castilla entra en competición con Portugal por llegar a Asia pero siguiendo una ruta diferente, hacia poniente, aunque el desconocimiento del tamaño real de la Tierra los lleva a descubrir el continente americano, que nadie esperaba encontrar entre Europa y la ansiada Asia.

En los buques españoles y portugueses de principios del siglo XVI, los miembros de la tripulación encargados de la determinación de la posición de la nave, la distancia recorrida y el mantenimiento del rumbo eran los pilotos, terceros en la jerarquía tras el capitán y el maestre. El de piloto era un puesto especialmente técnico, que exigía experiencia y preparación en distintos ámbitos, como matemáticas, astronomía y cosmografía, así como en el uso de los instrumentos de navegación.

De los seis pilotos con los que contará la expedición Magallanes-Elcano, solo sobrevivirá uno, Esteban

Gómez, que no completará la circunnavegación, pues fue uno de los que volvieron a España con la nao San Antonio desde el estrecho de Magallanes. Francisco Albo, inicialmente contramaestre, asumirá el cargo de piloto desde las costas de Sudamérica, a los pocos meses de comenzar la expedición, y será uno de los 18 supervivientes que llegarán a Sevilla en la nao Victoria junto a Elcano en 1522. A él debemos un cuaderno de bitácora que recoge medidas de latitud y detalles geográficos, climáticos y económicos de los distintos lugares por los que recalca la expedición, desde las costas de Brasil hasta el regreso a España.

Las dos coordenadas que utilizamos para situar un punto sobre la superficie de la Tierra son la latitud (ángulo con respecto al ecuador) y la longitud (ángulo con respecto a un meridiano fijo arbitrario, medido de este a oeste). Los pilotos de la época de la expansión marítima portuguesa y española, solo podían determinar con cierta precisión la latitud. Hasta bien entrado el siglo XVIII no será posible determinar la longitud desde un buque en alta mar, cuando comenzaron a utilizarse cronómetros mecánicos capaces de medir el tiempo de forma continua y estable a lo largo de la duración completa de un viaje. Los pilotos del hemisferio norte disponían de dos métodos para determinar la latitud: midiendo la altura de la Estrella Polar, la estrella más brillante de la constelación de la Osa Menor, sobre el horizonte o midiendo la altura del Sol, también sobre el horizonte, a su paso por el meridiano¹. La Estrella Polar es muy útil, pues se encuentra a menos de 1° de la posición del polo norte celeste, aunque se encontraba algo más alejada (unos 3,5°) a comienzos del siglo XVI. Como la latitud real a la que se encuentra un observador corresponde con la altura del polo norte celeste sobre el horizonte, para calcularla había que corregir la altura de la Polar por el efecto producido por dicha separación de 3,5°, que además varía, pues todas las estrellas giran alrededor del polo con

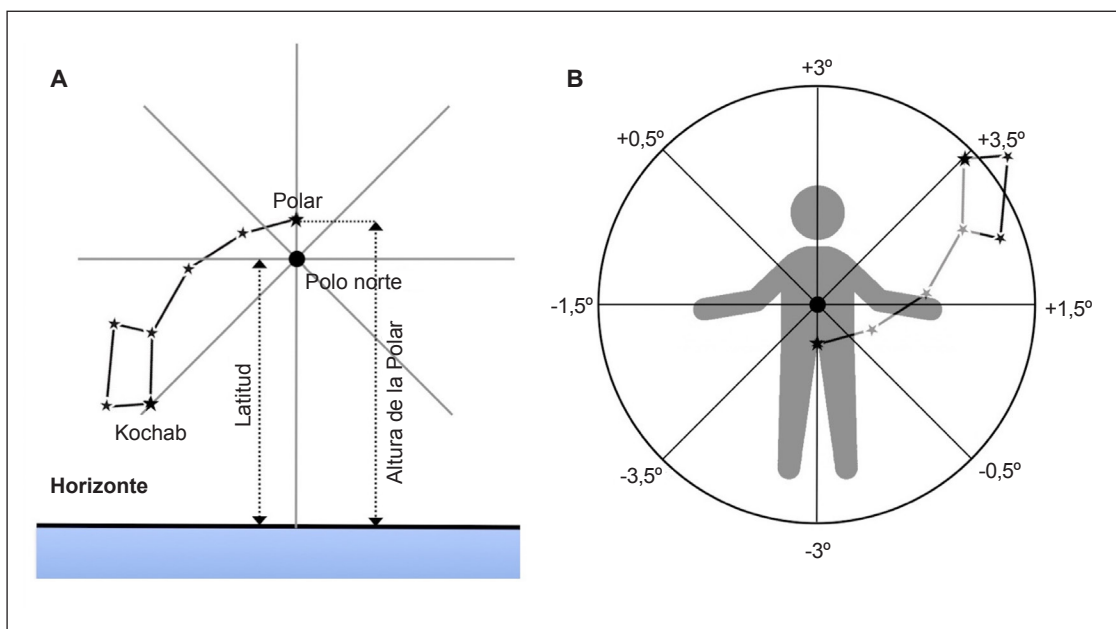
un período de 24 horas. Para estimar la corrección, los pilotos europeos del siglo XVI utilizaban una serie de recetas sencillas conocidas como el «Regimiento del Norte», basadas en la estimación de la diferencia de alturas de la Estrella Polar con respecto al polo norte celeste mediante la disposición relativa, con respecto a la Polar, de ciertas estrellas de la constelación de la Osa Menor, denominadas «Guardas de la Polar». Generalmente se usaba Kochab, la segunda estrella más brillante de la constelación que se encuentra en el extremo opuesto de la Osa Menor. Se dividía idealmente el área alrededor del polo norte celeste mediante ocho radios equiespaciados centrados en la posición del polo (Figura 1A) y se estimaba sobre cuál de ellos se encontraba la línea definida entre Kochab y la Polar. Según el resultado, se sumaba o restaba un ángulo que podía variar entre 0,5° y 3,5°. Para hacer más gráfica la aplicación del «Regimiento» se figuraba la posición de las «Guardas» con respecto a la silueta de un hombre centrado en el polo y con los brazos en cruz (Figura 1B). Según la posición de dichas estrellas respecto a la cabeza, los pies o el brazo izquierdo o derecho (correspondientes a los distintos radios) se obtenía el valor y signo de la corrección (véase una descripción más completa en Pereira, 2002, pp. 6-9).

La determinación de la latitud por medio de la Estrella Polar solo podía realizarse de noche y mientras la embarcación navegara en el hemisferio norte. La técnica basada en la medida de la altura del Sol en el meridiano no presentaba esos problemas. La idea básica puede verse en la Figura 2. La latitud (Φ) a la que está situado el buque corresponde a la altura angular del polo celeste visible con respecto al horizonte pero también coincide con el ángulo definido entre el cénit y el ecuador celeste medido a lo largo del meridiano del observador (Figura 2A). Como de día no podemos determinar visualmente dónde está el polo ni el ecuador, el problema lo podemos abordar usando tablas diarias de la posición del Sol. A comienzos del siglo XVI se utilizaban las denominadas *Tablas alfonsíes*, una parte de los *Libros del saber de astronomía* de Alfonso X el Sabio,

¹ Línea imaginaria que une los polos celestes con el cénit. El paso del Sol por el meridiano es lo que define el mediodía del observador.

FIGURA 1

CÁLCULO DE LA LATITUD A PARTIR DE LA ESTRELLA POLAR



NOTA: Descripción gráfica de las reglas para calcular la latitud a partir de la altura de la Estrella Polar y de la corrección indicada por la posición relativa de las estrellas Kochab y Polar (ambas en la constelación de la Osa Menor), cambiante según el momento de la noche en que se observe (método conocido como «Regimiento del Norte» por los pilotos europeos del siglo XVI). Según el radio donde se encuentra Kochab en el momento de medir la altura de la Polar, deberemos sumar a dicha altura un ángulo variable entre $-3,5^\circ$ y $+3,5^\circ$ para determinar el valor correcto de la latitud.

FUENTE: Elaboración propia.

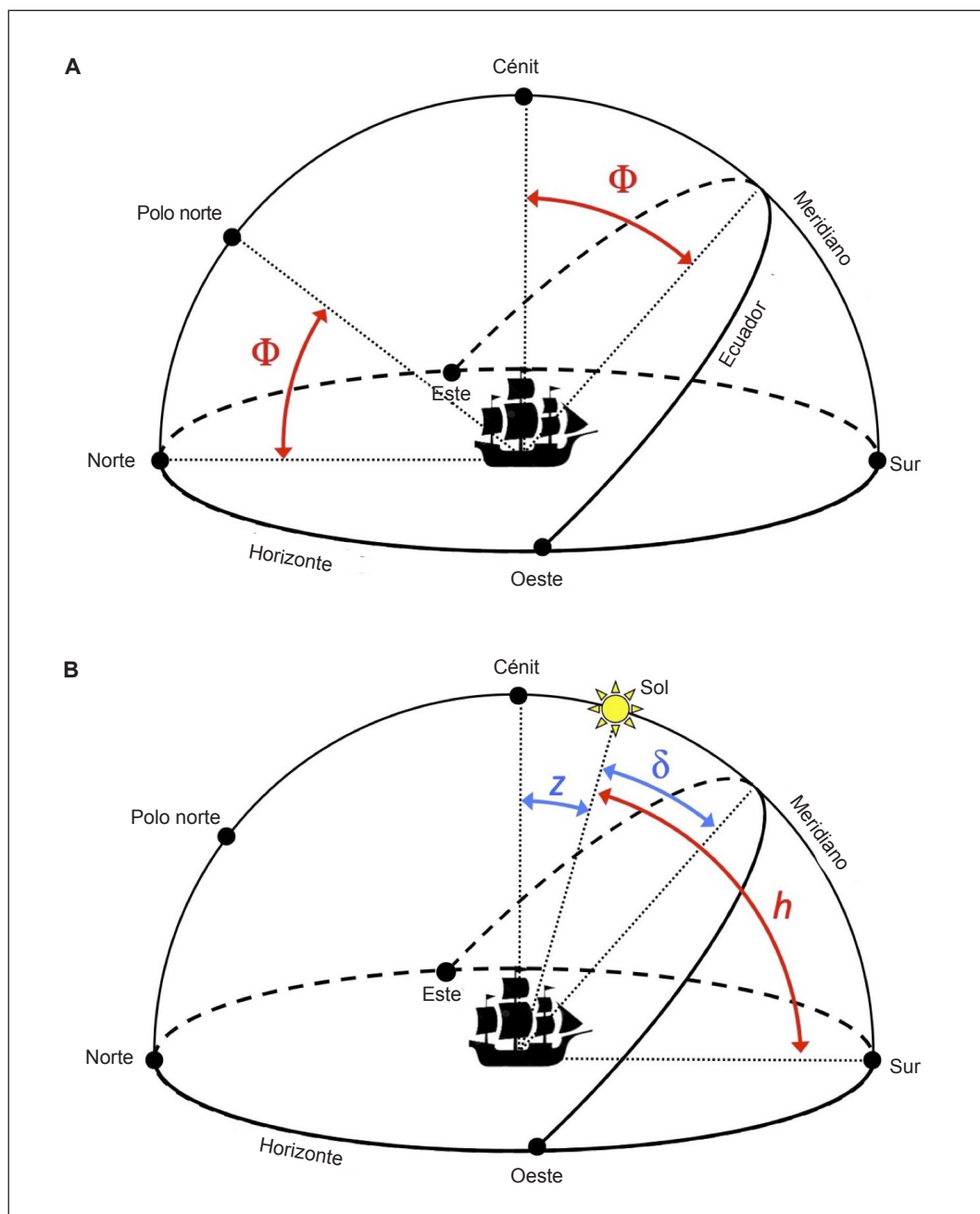
recopiladas en el siglo XIII, que contenían la declinación (ángulo con respecto al ecuador, δ) diaria del Sol. La latitud se calculaba entonces como la suma de la declinación y la distancia cenital (z) del Sol a su paso por el meridiano. En realidad lo que se medía era la altura del Sol con respecto al horizonte: h , que se relaciona con z mediante la fórmula: $h = 90^\circ - z$, por lo que $\Phi = \delta + 90^\circ - h$ (Figura 2B). Los pilotos de la época de los descubrimientos usaban reglas nemotécnicas, conocidas como «Regimiento del Sol», que facilitaban los cálculos según el hemisferio terrestre donde se navegara (Pereira, 2002, pp. 9-12).

En el siglo XVI se disponía de varios instrumentos para medir alturas sobre el horizonte y, por lo tanto, utilizables

para determinar la latitud: el cuadrante, el astrolabio y la ballestilla. El cuadrante era un instrumento conocido desde antiguo, al menos desde los tiempos del astrónomo Claudio Ptolomeo (siglo II d.C.), aunque la primera referencia de su uso en una embarcación procede de crónicas portuguesas de 1461 (Pereira, 2000, p. 7). Consistía en una estructura metálica con forma de un cuarto de círculo, donde el lado circular disponía de una escala graduada marcando desde 0° a 90° , y de cuyo vértice colgaba una plomada señalando la vertical (Figura 3A). Uno de los lados rectos constaba de dos pequeñas placas agujereadas (llamadas pínulas) con las que se apuntaba hacia el astro a observar. El valor del ángulo del lado circular graduado que coincidía con

FIGURA 2

TÉCNICA BASADA EN LA MEDIDA DE LA ALTURA DEL SOL EN EL MERIDIANO

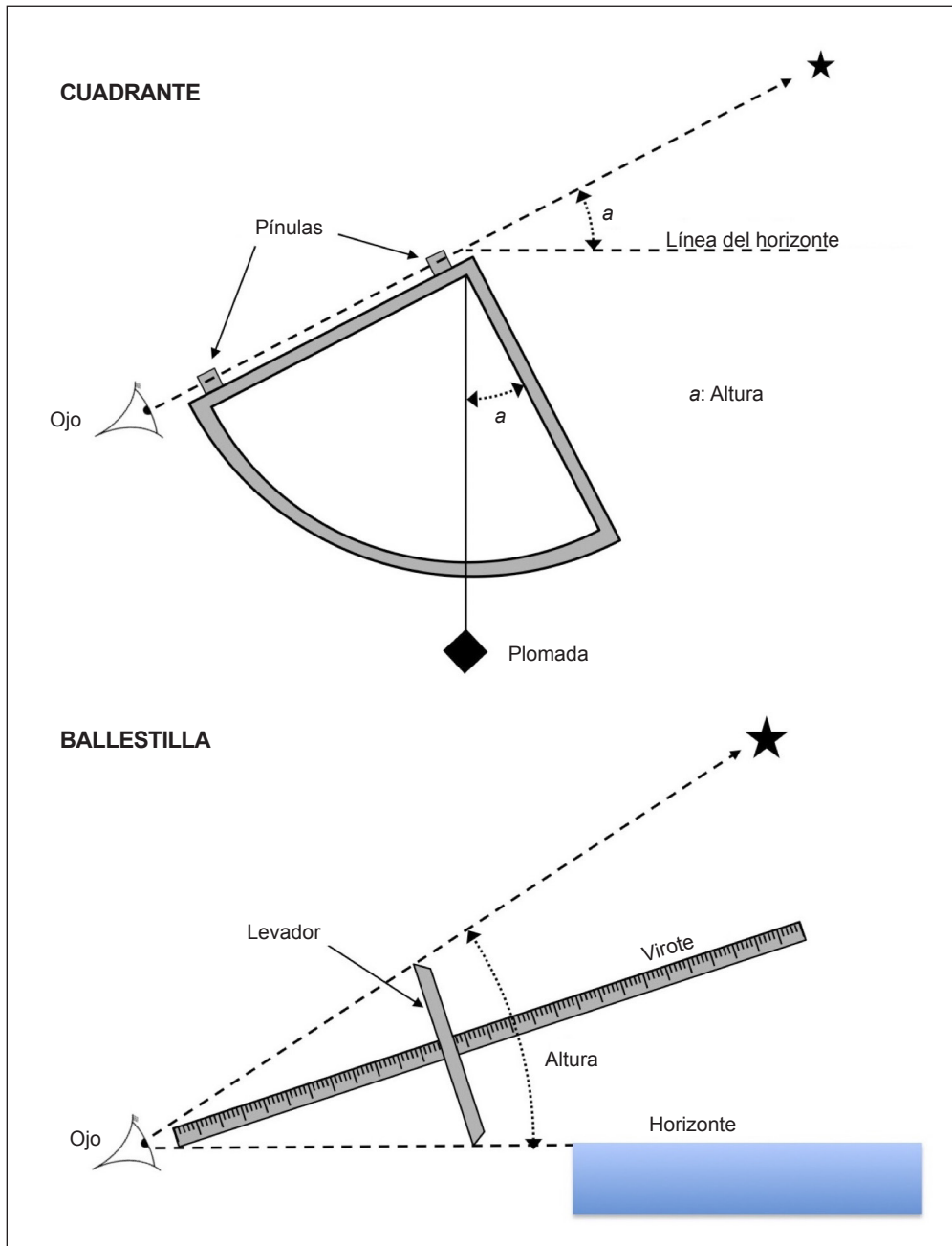


NOTA: A. Ángulos que definen la latitud de una embarcación (Φ) sobre la esfera celeste en el caso de navegar en el hemisferio norte.
 B. Relación gráfica entre declinación solar (δ), distancia cenital (z) y altura (h) del Sol a su paso por el meridiano, elementos necesarios para calcular la latitud a partir de observaciones de la altura del Sol.

FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 3

ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DEL CUADRANTE NÁUTICO Y DE LA BALLESTILLA



NOTA: Estructura y funcionamiento del cuadrante náutico y de la ballestilla, instrumentos empleados por los pilotos europeos de comienzos del siglo XVI para determinar la altura de un astro sobre el horizonte.

FUENTE: Elaboración propia.

el hilo de la plomada proporcionaba la altura del astro sobre el horizonte.

El astrolabio náutico era conocido desde finales del siglo XV, aunque la primera descripción de su estructura y manejo aparece en 1551, en el libro titulado *Arte de navegar*, de Martín Cortés de Albacar. Consistía en un círculo metálico graduado que se dejaba colgando de una anilla sujeta con la mano, por lo que la perpendicular al horizonte venía indicada por el eje vertical del instrumento. Las medidas se obtenían con una varilla metálica (llamada «alidada») que giraba alrededor del centro del disco y disponía de dos pínulas con las que se apuntaba al astro a medir.

El tercer instrumento con el que los pilotos europeos de principios del siglo XVI podían medir la altura de los astros era la ballestilla (Figura 3B). Su diseño, aunque muy simple, tenía una importante limitación, pues solo podía utilizarse cuando el horizonte era visible, por lo que únicamente se podía observar estrellas al atardecer o en noches con luz lunar intensa. Consistía en una vara graduada (llamada virote) de poco menos de un metro de longitud a lo largo de la cual se deslizaba una segunda vara perpendicular más corta (levador o sonaja). Para medir la altura de un astro, se colocaba el extremo del virote delante del ojo, deslizando el levador hasta que su parte inferior coincidía con el horizonte y la parte superior con el astro. La marca graduada del virote sobre la que se quedaba la sonaja marcaba el ángulo de la altura. Estos tres instrumentos se utilizaron en los buques europeos hasta el siglo XVIII, en que fueron sustituidos por instrumentos más precisos que empleaban espejos con la visión simultánea del astro y del horizonte, como el octante y el sextante.

J. M. Malhão Pereira realizó un estudio estadístico de la precisión de la determinación de la latitud usando réplicas de cuadrantes, astrolabios y ballestillas, a partir de medidas obtenidas por varios observadores desde buques modernos de la Armada portuguesa. En el caso del cuadrante, este autor obtiene determinaciones de la latitud con errores medios de 17 minutos

de arco ($0,28^\circ$), que corresponden aproximadamente a un error de unos 29 km en la posición de la nave (Pereira, 2000, p. 49). Con el astrolabio, Pereira (2000, pp. 10-12) obtiene errores promedio en la determinación de latitudes de unos 12,4 y 18 minutos de arco ($0,21^\circ$ y $0,3^\circ$) en observaciones estelares y solares, respectivamente, que corresponden a errores en la posición de entre 21 y 31 km. La mayor precisión del astrolabio en las observaciones nocturnas es debida a su mayor peso y comodidad de uso en dichas condiciones. Finalmente, en medidas de la altura del Sol con réplicas de la ballestilla, Pereira (2000, pp. 17-25) obtiene errores promedio del orden de 5 minutos de arco ($0,08^\circ$), significativamente más precisas que con el cuadrante o el astrolabio. Dichos errores en altura suponen incertidumbres del orden de 10 km en la posición de la nave. Estas estimaciones son consistentes con las anotaciones de Francisco Albo, piloto de la expedición Magallanes-Elcano, durante las jornadas del paso del estrecho de Magallanes, que sugieren un error de unos 20 minutos de arco ($0,33^\circ$) en sus medidas de la latitud (unos 35 km).

Los pilotos del siglo XVI podían determinar el rumbo de la embarcación por medio de la brújula o «aguja de marear», que se representaba sobre la carta náutica de la zona de navegación. Como ya se sabía entonces, la brújula no apunta exactamente al norte geográfico (sino al norte magnético), una diferencia conocida como declinación magnética. En las zonas cercanas a las costas del sur de Europa la aguja apuntaba al este del polo, es decir «nordesteaba». Aparentemente, fue Cristóbal Colón el primero en notar que el sentido de la declinación magnética no era constante pues, en una parte de su viaje descubridor de las tierras americanas, notó que la aguja «noruesteaba», es decir apuntaba al oeste del polo.

La distancia recorrida por la embarcación se estimaba por medio de determinaciones puntuales de la velocidad del buque realizadas cada cierto tiempo. La instrumentación necesaria para ello era muy sencilla: una corredera y un reloj de arena o ampollita. La corredera

consistía en una madeja de cuerda de gran longitud con nudos equidistantes y con una tabla de madera unida a uno de sus extremos. Por la popa, se lanzaba al agua el cabo de la corredera con la madera, que flotaba, y un miembro de la tripulación iba dejando correr libremente la cuerda por su mano. Al paso del primer nudo se comenzaba a medir el tiempo con la ampolleta y se iban contando los nudos que pasaban por la mano hasta agotarse el reloj de arena. El número de nudos contados durante el intervalo de tiempo medido por la ampolleta proporcionaba la velocidad del buque. De este método proviene el uso del nudo como unidad de velocidad en navegación marítima, equivalente a una milla náutica por hora, actualmente 1.852 metros por hora.

Como ya se comentó anteriormente, la otra coordenada geográfica aparte de la latitud, la longitud, no pudo determinarse con exactitud hasta bien entrado el siglo XVIII, pues necesitaba de un cronómetro que proporcionara el tiempo de forma continua y estable a lo largo de toda la travesía. En el siglo XVI, la longitud geográfica se estimaba, en la terminología de la época, «por fantasía», mediante estimaciones diarias del rumbo y de la distancia recorrida, cuya mayor o menor precisión dependía básicamente de la experiencia y pericia del piloto. Génova Sotil y Vila Miranda (1992, p. 84) recopilan determinaciones de la distancia entre algunas islas de Canarias y de las Pequeñas Antillas por parte de 66 pilotos de la Carrera de Indias antes del uso de cronómetros: las estimaciones de 44 de ellos muestran un error igual o menor al 5 % (250 km) y solo cinco de ellos la determinan con errores mayores al 10 %, unas precisiones dignas de elogio. El relojero británico John Harrison fue el primero en construir un cronómetro marino con la precisión suficiente para poder determinar longitudes. Su primer prototipo fue probado en 1736, construyendo un total de cinco diferentes hasta 1772. La determinación de la longitud fue un problema estratégico de primer orden entre los distintos Estados europeos. De hecho, en 1714, el organismo británico denominado *British Commissioners for the Discovery of Longitudes at Sea*, conocido popularmente como *Board*

of Longitude, instituyó un premio destinado a alentar la resolución del problema de la determinación de longitud en el mar. El grupo desembolsó más de 100.000 libras y se disolvió en 1828.

Tanto los pilotos de la expedición de Magallanes-Elcano como los portugueses que exploraron previamente África y el Índico tuvieron que enfrentarse al problema de perder de vista la Estrella Polar al acercarse al ecuador. Las naves de Magallanes lo atravesaron en noviembre de 1519, entre las costas de África Occidental y Brasil. El principal cronista de la expedición, Antonio Pigafetta, comenta: «Cuando hubimos pasado la línea equinoccial, acercándonos al polo antártico, perdimos de vista la estrella polar» (Pigafetta, 2012, p. 14). Desde entonces, las determinaciones de la latitud solo pudieron realizarse mediante medidas de la altura del Sol. Sobre la apariencia del cielo austral, Pigafetta nos dice: «El polo Antártico no goza de las mismas constelaciones que el Ártico...» (Pigafetta, 2012, p. 37), por lo que hubo incluso que empezar a pensar nombres para las nuevas constelaciones. Por otra parte, en el cielo del sur no existe una estrella de referencia análoga a la Polar. De hecho, la zona alrededor del polo sur celeste está vacía de estrellas brillantes. La conspicua constelación de la Cruz del Sur, cuyo descubrimiento se describe así: «Hallándonos en el medio del mar, descubrimos hacia el oeste cinco estrellas muy brillantes colocadas exactamente en forma de cruz» (Pigafetta, 2012, p. 37), se encuentra bastante alejada (unos 25°) del polo. Finalmente, Pigafetta también describe la presencia de dos pequeñas nebulosas relativamente cerca del polo sur: «... viéndose en él dos grupos de pequeñas estrellas nebulosas que parecen nubecillas, a poca distancia uno de otro» (Pigafetta, 2012, p. 37). Se refiere a las que serán conocidas como las Nubes de Magallanes (la Pequeña y la Gran Nube de Magallanes). Dos galaxias irregulares enanas satélites de nuestra Vía Láctea situadas a 160.000 y 200.000 años luz de distancia de nosotros.

La expedición Magallanes-Elcano, el descubrimiento de América y los viajes portugueses a Asia también

transformaron la cartografía, permitiendo la hegemonía europea en el mundo durante los siglos posteriores. El mapa de Juan de la Cosa de 1500 es considerado la primera representación parcial del continente americano y, además, una obra que superaba en rigurosidad a las anteriores representaciones cartográficas al uso, donde el componente «imaginativo» era importante (Nieva Sanz, 2019). A partir del siglo XVI la cartografía se convirtió en una herramienta estratégica para las monarquías europeas, manteniendo en secreto este tipo de información. En España, el control de la cartografía lo ejercerá la Casa de la Contratación, fundada en 1503. Un grupo de geógrafos de dicha institución recabará y volcará sobre planos los descubrimientos e informaciones suministradas por los pilotos que volvían de las expediciones. En algunos casos, los cartógrafos oficiales hasta llegaron a introducir errores a propósito en los mapas, como por ejemplo, para defender la soberanía hispánica sobre las Islas Molucas, situándolas erróneamente en el hemisferio castellano definido por el Tratado de Tordesillas.

La construcción naval también fue un elemento clave en la expansión marítima hispánica, aunque no comenzaría a ser un tema prioritario hasta el reinado de Carlos I. A lo largo del siglo XVI experimentó numerosas innovaciones técnicas, pero adolecía de una total falta de sistemática. El primer manual sobre construcción naval publicado en el mundo se debe a un español, Diego García de Palacio, titulado *Instrucción náutica, para el buen uso y regimiento de las naos, su traça, y su gobierno conforme a la altura de México*, impreso en Nueva España en 1587. En 1607 se creó en Madrid una junta de maestros, agrupando a los mejores constructores de barcos para definir los estándares que pasarían a ser obligatorios en los astilleros de España y Portugal.

3. Estrellas y navegación tradicional en Oceanía

Los marinos de la expedición Magallanes-Elcano, tras recorrer la costa oriental de Sudamérica, descubrirán el paso entre el océano Atlántico y el mar del

Sur (que rebautizarán como océano Pacífico), un paso que se denominará estrecho de Magallanes. Tardarán 36 días en explorar y recorrer su compleja geografía, pero eso solo será un aperitivo de lo que les esperaría, pues una vez abandonado el estrecho el 28 de noviembre de 1520, tardarán 100 días en volver a tocar tierra, atravesando miles de kilómetros de un océano totalmente nuevo y desconocido para los europeos. Aunque los mapas de Oceanía nos muestran una enorme extensión de agua repleta de multitud de pequeñas islas, los expedicionarios avistarán solo dos de ellas, deshabitadas y con la mala suerte de no poder desembarcar. Por este motivo llamaron a ambas islas Infortunadas. La primera, divisada el 21 de enero de 1521 y bautizada como San Pablo, corresponde posiblemente al atolón de Puka Puka, que forma parte del actual archipiélago Tuamotu, en la Polinesia Francesa. A la segunda, avistada el 4 de febrero, la denominarán isla de los Tiburones, que corresponde a la actual Flint, en la República de Kiribati.

El 6 de marzo de 1521, cuando las condiciones en los tres buques que quedaban de la expedición eran ya desesperadas, se avistan dos islas altas, Guam y Rota, islas que fueron inicialmente denominadas de las Velas Latinas por el tipo de canoa que usaban sus habitantes, los chamorros, que manejaban con una destreza y velocidad extraordinarias, aunque también fueron conocidas como islas de los Ladrones, pues los isleños, maravillados por los utensilios de que disponían los europeos, principalmente los de metal, robaban todo lo que se les ponía a mano al subir a los barcos para hacer intercambios. Finalmente, el archipiélago acabará siendo conocido como islas Marianas, en honor a la reina Mariana de Austria, segunda esposa del rey de España Felipe IV, que costeó su evangelización y conquista, que comenzaría en 1668 bajo la dirección del jesuita Diego Luis de San Vitores. Dichas islas, el primer enclave europeo de Oceanía, donde se levantaría la primera iglesia y se fundaría la primera escuela del continente, permanecerán bajo control español hasta 1899, en que serán vendidas a

Alemania, excepto la más grande y poblada, Guam, que será ocupada por Estados Unidos un año antes, en 1898, durante la guerra hispano-estadounidense. La estancia de apenas tres días de la expedición de Magallanes-Elcano en las Marianas supuso el primer contacto directo de los europeos con una cultura insular oceánica.

En el momento del encuentro de europeos y oceánicos en Guam, la mayoría de las islas del Pacífico estaban habitadas. Esta colonización se produjo por medio de expediciones marítimas que fueron poblando los distintos archipiélagos de oeste a este, con origen en el sudeste asiático y las islas adyacentes, como Taiwán o Filipinas. Melanesia y Micronesia se comenzaron a poblar alrededor del 3000 a.C. y las últimas islas de Polinesia, como Hawái, Nueva Zelanda o Rapa Nui, acabaron de ocuparse alrededor o poco después del 1000 d.C. Los europeos de la expedición Magallanes-Elcano y los oceánicos que encontraron compartían la habilidad de la navegación y el uso de las estrellas para desplazarse por el océano, aunque de una forma diferente.

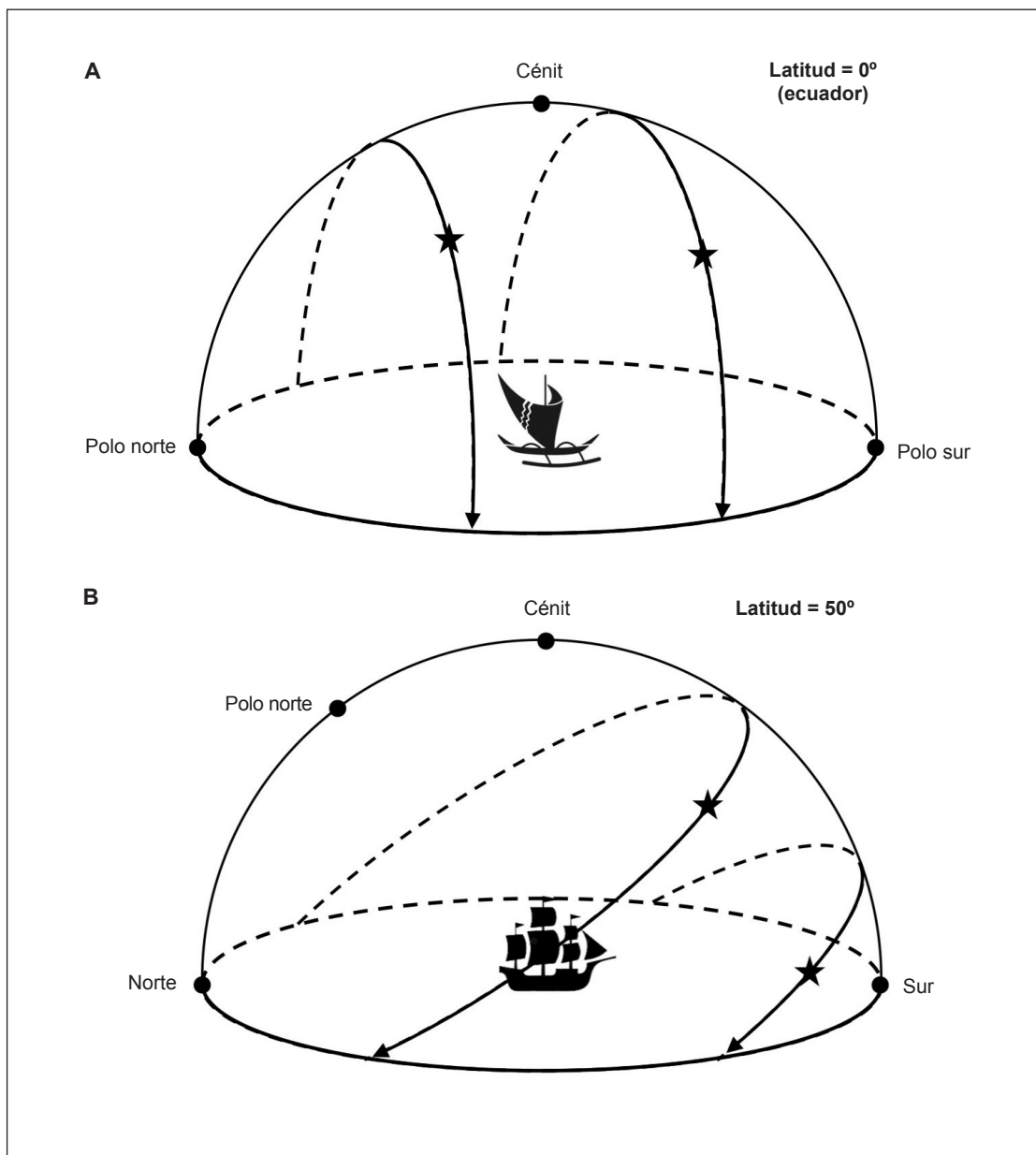
Si miramos en un mapa de Oceanía, podemos observar cómo la mayoría de los archipiélagos se encuentran situados alrededor del ecuador, en lo que conocemos como banda tropical, la zona terrestre situada entre los trópicos de Cáncer, al norte, y Capricornio, al sur, es decir, su latitud (positiva o negativa) suele ser pequeña. Este hecho supone que, cuando una estrella sale o está pronta a ocultarse, describe una trayectoria casi perpendicular al horizonte, por lo que su posición ascendente o descendente puede usarse como un indicador de rumbo durante varias horas en la noche (Figura 4A); son las denominadas estrellas de horizonte o guía. En latitudes más elevadas como las europeas esto no ocurre, pues las trayectorias de las estrellas son oblicuas respecto al horizonte (Figura 4B), por lo que no son indicadoras fiables de rumbo (a excepción de la Polar, que prácticamente no se mueve a lo largo de la noche al estar situada tan cerca del polo norte celeste). Esta propiedad de las estrellas en las

aguas alrededor de las islas del Pacífico fue explotada muy eficientemente por los navegantes preeuropeos de los distintos archipiélagos micronesios y polinesios durante siglos y, posiblemente, milenios.

La navegación tradicional oceánica se mantiene todavía viva en algunos atolones de las islas Carolinas (bautizadas así en honor al rey Carlos II de España por Francisco de Lezcano en 1686), en los Estados Federados de Micronesia, como Satawal o Puluwat. La navegación tradicional en esta y otras zonas del Pacífico ha sido estudiada por varios autores como Goodenough (1953), Gladwin (1970), Lewis (1994) o Finney (1994). Podemos suponer que los métodos de navegación que usaban los oceánicos en el momento del primer contacto con los europeos no serían muy diferentes a los que describen dichos autores. En los pequeños atolones, los pilotos micronesios, los navegantes, son miembros destacados de sus comunidades y se forman tras largos años de estudios en las «casas de canoas». Uno de los pilares básicos de su formación es el estudio de la posición y el movimiento de las estrellas y otros astros sobre el cielo; de hecho, consideran la astronomía como una rama del arte de la navegación. Los navegantes carolininos usan la brújula estelar o sidérea (Figura 5) para definir la dirección de navegación entre islas. Es una especie de rosa de los vientos que se representa como una circunferencia con 32 puntos, que se corresponden con los puntos del horizonte en donde se produce el orto, ocaso o culminación de 15 estrellas o asterismos (conjuntos conspicuos y pequeños de estrellas que no siempre coinciden con las constelaciones) relevantes del cielo. Forman parte de la brújula estelar asterismos bien conocidos como las Pléyades, la Cruz del Sur, la Osa Mayor o el Cinturón de Orión, pero también estrellas brillantes como Aldebarán, Altair, Antares o Vega. Estos 32 puntos de la brújula estelar cubren los 360° del horizonte, simétricamente respecto al eje norte-sur aunque no están equiespaciados. Estos puntos vienen nombrados por la estrella o asterismo guía que se usa para definir el rumbo estelar.

FIGURA 4

TRAYECTORIA DE LAS ESTRELLAS SOBRE LA ESFERA CELESTE

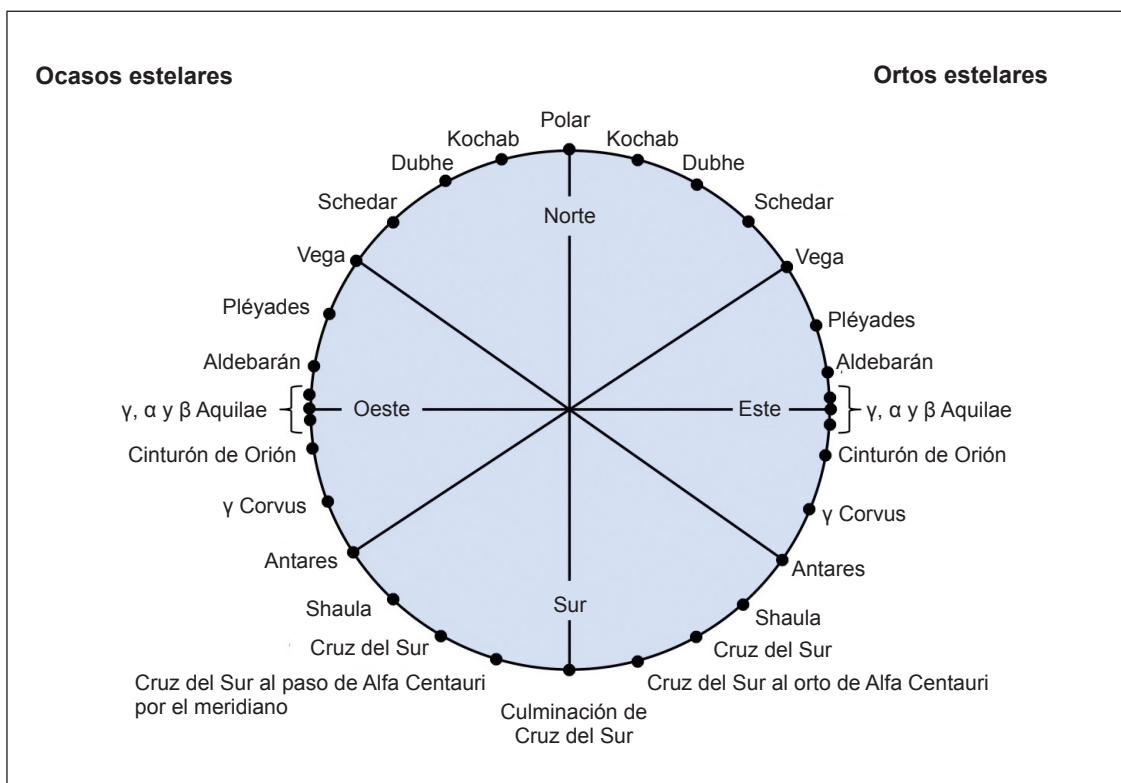


NOTAS: A. Para un navegante tradicional carolino, situado en las cercanías del ecuador terrestre, las estrellas trazan trayectorias que son casi perpendiculares con respecto al horizonte durante su movimiento sobre la bóveda celeste debido a la rotación de la Tierra, por lo que pueden utilizarse para seguir un rumbo de navegación durante varias horas. B. Para un observador situado a una latitud elevada (50° en el ejemplo mostrado, correspondiente a una latitud media en Europa) la trayectoria de las estrellas será oblicua con respecto al horizonte y no podrán usarse como indicadoras de rumbo.

FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 5

BRÚJULA ESTELAR O SIDÉREA DE LAS ISLAS CAROLINAS



NOTA: Brújula estelar de 32 puntos basada en ortos, ocasos y culminaciones de estrellas o asterismos brillantes usada por los navegantes tradicionales de las islas Carolinas. Adaptada de Goodenough (1953, Figura 2).

FUENTE: Elaboración propia.

La primera referencia histórica acerca del uso de la brújula estelar entre los oceánicos proviene del padre jesuita Fr. Juan Antonio Cantova, que se encontraba en Guam en 1721 en el momento de la llegada de un grupo de náufragos provenientes de la isla carolina de Woleai. Los carolinos le informaron que aprendían astronomía como herramienta para la navegación y que usaban una esfera donde indicaban las estrellas principales que les servían para marcar los rumbos a seguir en el mar (Lewis, 1994, p. 112). En Polinesia también se utilizó una brújula estelar, aunque su uso se perdió tras la llegada de los europeos. Una descripción

sobre la utilización de estrellas entre los navegantes de Tahití la recoge José Ramón Andía y Varela, capitán y oficial mayor de uno de los buques de la Armada española que participaron en la segunda expedición a Tahití organizada por el virrey del Perú Manuel Amat y Junyent en 1774 (Mellén Blanco, 2011, p. 609).

Los navegantes carolinos, durante su aprendizaje en las «casas de canoas», memorizan el conjunto de estrellas que, durante la noche, según salen y se ponen, marcan el rumbo hacia cada una de las islas con las que mantienen contacto, así como toda la información que sobre vientos y corrientes marinas

han ido recopilando generaciones de navegantes. Por otra parte, no solo son capaces de seguir el rumbo apuntando su proa hacia una estrella guía, sino que, cuando esta no es visible por la presencia de nubes justo en la dirección hacia la que navegan, pueden utilizar cualquier otra estrella visible manteniéndola fija respecto a cualquier estructura de la canoa y con el ángulo apropiado en relación al rumbo prefijado. Todas estas prácticas muestran que los navegantes carolinos disponen de un conocimiento completo del firmamento en cada momento.

Según recoge Lewis (1994, pp. 287-289), los navegantes de Micronesia también utilizaron el concepto de estrella cenital. Es decir, establecían la estrella (o estrellas) que pasaba por el cenit de una determinada isla, cosa que depende de la latitud a la que se encuentre. Esto se establecía mediante la observación de la posición de las estrellas en relación con la punta del mástil a lo largo de la noche. Era también una ayuda para establecer la posición de la embarcación, sobre todo cuando se viajaba a lugares distantes.

En la navegación tradicional del Pacífico también se usan otros indicadores secundarios de rumbo. Por ejemplo, los puntos por donde sale o se pone el Sol también se utilizan en el momento del amanecer o el atardecer, pero, como su posición es variable a lo largo del año, esta se calibra con observaciones de estrellas la noche anterior o posterior. Desde la llegada de los europeos, la brújula magnética también se usa durante el día y cuando está nublado, pero también se comprueba con la posición de las estrellas. Otra técnica mucho más sutil y que requiere más sensibilidad táctil que visión es la estimación del rumbo en base al movimiento del mar de fondo, olas de pequeña amplitud y baja frecuencia que suelen tener una dirección constante en determinados lugares y momentos del año (Lewis, 1994, p. 130).

La incertidumbre que un navegante puede permitirse a la hora de establecer un rumbo depende de lo lejos que se encuentre el destino, así como de la distancia desde la que puede detectar la isla a la que se dirige. Si se trata de una isla baja o un atolón, esta solo podrá

divisarse cuando la canoa esté a 15 o 20 km de la costa, pero la distancia aumenta en función de lo alto que sea su relieve. Por ejemplo, una isla como Hawái, la más extensa del archipiélago del mismo nombre, que tiene montañas muy altas, como Mauna Kea, de 4.200 m de altura, puede divisarse desde la friolera de 150 km de distancia. Independientemente de la visión de la costa, hay otros indicios que permiten detectar la presencia de una isla o tierra a distancia, como, por ejemplo, la acumulación y las formas diferenciadas que adquieren las nubes cuando están sobre masas de tierra. Otro indicio más curioso es el avistamiento de aves, pues hay ciertas especies que se alimentan en alta mar y descansan en tierra. Por ejemplo, a los charranes podemos encontrarlos buscando comida a distancias de hasta 40 o 50 km de la costa y a los alcatraces los podemos ver incluso más lejos. Cuando un navegante distingue a una de estas aves tendrá la certeza de que la costa está cerca. Si las ve al amanecer, sabe que están volando desde la costa, pues habrán salido a buscar comida; si las ve al atardecer, su ruta le indicará la dirección donde se encuentra la tierra, pues estarán volviendo a descansar (Lewis, 1994, p. 209).

Desde hace casi 50 años, las técnicas de navegación y construcción de canoas tradicionales han experimentado un renacimiento en Oceanía, especialmente en Hawái, donde el antropólogo Ben Finney y otros profesionales y simples interesados en la cultura polinesia fundaron la *Polynesian Voyaging Society*, sociedad dedicada a la investigación y divulgación de las técnicas tradicionales de navegación oceánica. En 1975 construyeron una gran canoa de doble casco siguiendo métodos preeuropeos, la famosa *Hokule'a* («Estrella de la Alegría», el nombre hawaiano de la estrella Arturo, la más brillante de la constelación del Boyero). El viaje inaugural cubrió los 4.200 km que separan Hawái de Tahití, recorriéndolos en algo más de un mes, sin usar instrumentos modernos de navegación y aplicando únicamente técnicas tradicionales. Como en Hawái no quedaba nadie que dominara dichas técnicas, tuvieron que aprenderlas de nuevo de los navegantes

contemporáneos de los atolones micronesios, como el maestro Mau Piailug, de la isla de Satawal. Entre 1976 y 2009, la *Hokule'a* realizó una gran cantidad de viajes oceánicos de miles de kilómetros, partiendo desde Hawái y visitando Samoa, las islas Cook, Nueva Zelanda e incluso las costas de Japón, Canadá o Estados Unidos. En 2014, la *Hokule'a* y su canoa hermana *Hikianalia* (nombre hawaiano de la estrella Spica, la más brillante de la constelación de Virgo) emprendieron un viaje de tres años alrededor del mundo, visitando 26 países. Actualmente, la navegación tradicional se ha convertido en un elemento de reafirmación cultural y de confraternización entre los distintos archipiélagos de Polinesia y Micronesia, una relación que ya existía hace siglos, mucho antes de que llegaran los primeros europeos de la expedición Magallanes-Elcano y que se extendía a lo largo de extensas rutas oceánicas guiadas por las estrellas.

4. Conclusiones

La expedición Magallanes-Elcano puso en contacto, por primera vez, todas las principales áreas geográficas pobladas del planeta, estableciendo las bases del comercio global. Las técnicas de navegación astronómica fueron una herramienta estratégica en la expansión europea, especialmente la determinación de la latitud, que era la única coordenada geográfica que podía determinarse con cierta precisión en el siglo XVI. La expedición Magallanes-Elcano también contribuyó al mejor conocimiento del cielo austral por parte de los europeos, popularizando constelaciones como la Cruz del Sur o las galaxias que posteriormente se conocerían como Nubes

de Magallanes. Uno de los principales descubrimientos geográficos de la expedición que nos ocupa fue Oceanía, una vastísima colección de archipiélagos conectados por canoas pilotadas por hábiles navegantes con un conocimiento sorprendente del cielo. Estas técnicas de navegación tradicionales, que estuvieron a punto de ser olvidadas, resurgieron con fuerza desde mediados del siglo XX, convirtiéndose en un importante elemento identitario para las culturas oceánicas.

Referencias bibliográficas

- Finney, B. R. (1994). *Voyage of Rediscovery. A Cultural Odyssey through Polynesia*. University of California Press.
- Génova Sotil, J. y Vila Miranda, C. (1992). Notas sobre la náutica en los siglos XVI y XVII. En A. Landín (Ed.), *Descubrimientos españoles en el Mar del Sur*, Tomo I (pp. 43-86). Editorial Naval.
- Gladwin, T. (1970). *East is a Big Bird. Navigation and Logic on Puluwat Atoll*. Harvard University Press.
- Goodenough, W. H. (1953). *Native Astronomy in the Central Carolines*. The University Museum. University of Pennsylvania.
- Lewis, D. (1994). *We, the Navigators. The Ancient Art of Landfinding in the Pacific*. Second Edition. University of Hawai'i Press.
- Mellén Blanco, F. (2011). *Las expediciones marítimas del virrey Amat a la isla de Tahiti 1772-1775. Manuscritos españoles del siglo XVIII*. Ediciones Gondo.
- Nieva Sanz, D. M. (2019). Panorama naval ibérico en los siglos XVI y XVII: desarrollo, innovaciones y guerra naval. *Revista Historia Autónoma*, 15, 71-91.
- Pereira, J. M. M. (2000). *Experiências com instrumentos e métodos antigos de navegação*. Academia de Marinha.
- Pereira, J. M. M. (2002). *East and West encounter at the sea*. Academia de Marinha.
- Pigafetta, A. (2012). *Primer viaje alrededor del globo*. Fundación Civilliter.