

## Ciencia y náutica. Los textos de pilotaje del siglo XVIII

### Science and Navigation: The Texts of Pilotage in the 18<sup>th</sup> Century

Gabriel PINTOS AMENGUAL  
Investigador independiente  
mallorca1954@hotmail.com  
<https://orcid.org/0000-0001-9262-9786>

Fecha de recepción: 08-09-2021  
Fecha de aceptación: 22-02-2022

#### RESUMEN

En este artículo se trata de analizar los textos de pilotaje utilizados en el siglo XVIII y su adecuación a la ciencia del momento. Para ello, abordamos el estado de la ciencia mediante el establecimiento de los hitos que marcaron la evolución de la navegación astronómica científica y, por otra parte, realizamos el análisis comparativo de los textos, para finalmente determinar si estos adoptaron o no los adelantos de la ciencia náutica y en su caso el periodo transcurrido hasta incluirlos en los textos.

**Palabras clave:** ciencia, náutica, astronomía de posición, textos náuticos

**Topónimos:** España

**Periodo:** siglo XVIII

#### ABSTRACT

This article tries to analyze the pilotage texts used in the 18<sup>th</sup> century and their adaptation to the existing science. To do this, we address the state of science by establishing the milestones that marked the evolution of scientific astronomical navigation; on the other hand, we perform a comparative analysis of the texts. We finally determine whether or not they adopted the advances in nautical science and where appropriate, the period that elapsed until such advances were included in the texts.

**Keywords:** science, nautical science, position astronomy, nautical texts

**Place names:** Spain

**Period:** 18<sup>th</sup> century

## 1. INTRODUCCIÓN

En la navegación atlántica la utilización de la latitud observada y la carta náutica para situar el punto no fue simultánea. En una primera fase<sup>1</sup> se utilizó la diferencia de altura de los astros para determinar el camino recorrido norte-sur, y las latitudes de puntos conocidos de la costa se utilizaron como referencias locales (Laguarda Trías, 1959). Para ello, se llegaron a construir tablas con la altura meridiana del sol para determinados puntos, por ejemplo, Lisboa. De esta forma, al calcular la altura meridiana del Sol en la mar, por diferencia entre alturas, se podía calcular la distancia norte-sur a la que se encontraban los puntos. “Estos procedimientos permitían corregir en el sentido norte-sur la estima del camino recorrido y marcar sobre la carta portulana, sin necesidad de que esta tuviera la graduación de latitudes, la posición correcta del barco” (Laguarda Trías, 1959: 9). Para la realización de los viajes oceánicos, el procedimiento para calcular la distancia norte-sur no fue suficiente, lo que hizo imprescindible que los pilotos perfeccionasen sus conocimientos sobre la utilización de los astros y los instrumentos de tomar alturas como medio para obtener las coordenadas geográficas donde se encontraba el buque. La ciencia del momento solo permitía calcular la latitud por altura de la Estrella Polar y por altura meridiana del Sol, métodos que fueron recogidos en los textos de pilotaje. El cálculo de la latitud por altura meridiana del Sol requería tomar su altura sobre el horizonte, que normalmente se hacía con el astrolabio y el conocimiento de la declinación, que se obtenía de las tablas. En el caso de la latitud por la Polar, el procedimiento era tomar la altura del astro mediante la ballestilla o el cuadrante, basado en que es una estrella próxima al polo, y aplicando una pequeña corrección, se obtiene la latitud del observador. Esta corrección es función de la posición concreta que ocupa la Polar en su movimiento diurno aparente alrededor del polo celeste<sup>2</sup>. La exactitud de la altura observada del astro sobre el horizonte depende de dos variables: la precisión del instrumento y la pericia del observador. Además, ahora sabemos que para obtener la altura verdadera es necesario aplicar una serie de correcciones que en la época no se tenían en cuenta. Tanto es así que estas correcciones no se normalizaron en la enseñanza en España hasta que Pedro Manuel Cedillo las introdujo en el *Tratado de cosmografía y náutica* (1745), aunque anteriormente García Sevillano (1736; 168-175) ya las incluyó en el *Nuevo Regimiento de la Navegación*. La no aplicación de las correcciones a las alturas observadas junto a la inexactitud de las tablas de declinación del Sol causaron múltiples errores en el cálculo de la latitud observada por meridiana del Sol<sup>3</sup>.

Durante el siglo xvii se desarrolló la *revolución científica*, término acuñado por Koyré en 1939 para explicar la época en la que los conocimientos existentes en el campo de la astronomía, la física, la química, la biología, la medicina, llegando en mayor o menor medida a todas las áreas de la ciencia, fueron cuestionados y reemplazados por otros, como el concepto de que la Tierra era el centro del Universo o las ideas aristotélicas sobre el movimiento de los cuerpos celestes (uniformidad, circularidad de traslación). En definitiva “supuso la ruptura abierta y sistemática con los métodos y los supuestos del saber tradicional, que fueron sustituidos por otros que sirvieron de fundamento a una “nueva ciencia” (López Piñero, 1979: 371). Destacaron en el inicio de la revolución científica hombres como Nicolás

1 Esta primera fase se refiere a la iniciada por los portugueses en el siglo xv, en el sentido expresado por González González (2006: 138).

2 Los métodos de posicionamiento astronómico a lo largo de la historia han sido estudiados por García Franco (1947), Cotter (1968), Hewson (1983), Ibáñez (2011), Pintos (2020).

3 Louzán Lago (2005: 617) nos aproxima a la exactitud de las observaciones realizadas con algunos de los primeros instrumentos de observación que se emplearon en la mar y que fueron antecesores de los modernos sextantes, tales como el astrolabio, el cuadrante o la ballestilla.

Copérnico, con la teoría heliocéntrica del sistema solar; Johannes Kepler (1571-1630), con sus leyes sobre el movimiento de los planetas en su órbita alrededor del Sol; Galileo Galilei (1564-1642), con la formulación de la primera ley de movimiento para la observación astronómica, y Isaac Newton (1642-1727), con la ley de la gravitación universal y las que explican la realidad modificando la comprensión de las matemáticas y la física. Mientras que autores como Sánchez Martínez (2010: 456) y Navarro Brotons (2014: 239) consideran que el término de *revolución científica* va más allá de la construcción de la física y la astronomía, ampliándola a la geografía y la cartografía que experimentaron un gran desarrollo en los siglos XVI y XVII. A lo que Navarro Brotons (2014: 194), citando a la Dra. Ursula Lamb, pone de manifiesto el desarrollo que tuvieron las ciencias de la naturaleza en la España de los Habsburgo.

A principios del siglo XVII, gracias a la invención de los logaritmos en 1614 por el matemático escocés John Napier (1550-1617) que facilitaron los cálculos trigonométricos, la trigonometría se convirtió en una materia fundamental en la navegación y en la astronomía de posición. “Entre las admirables invenciones del género humano, pocas acaso han influido más que la de los logaritmos en los rápidos progresos, que en estos últimos siglos han hecho las ciencias exactas, y en especial la astronomía y la navegación”. (Vázquez Queipo, 1967, s.n)

Con la invención de los logaritmos y la construcción de tablas logarítmicas de senos y tangentes, “la maravillosa mecánica logarítmica aparece, pues, en todo su esplendor, y es lógico que haga también su presentación en la náutica, como desde el primer instante se adueñó de la astronomía” (García Franco, 1947, vol. 1: 188). En España los logaritmos aparecieron por primera vez en 1646 en el manuscrito *Arithmetica* de Hugo Sempil (1589-1654) al que años después le seguirían José Zaragoza (1627-167) con sus obras *Arithmetica universal* (1669) y *Trigonometría española* (1672) y Juan Caramuel (1606-1682) con su *Architectura civil recta y oblicua* (1678) (Navarro Loidi, 2008). En la navegación los logaritmos tuvieron su aplicación como afirma García Franco (1947) debido a Edmund Gunter (1581-1626), mediante una regla ideada en 1620 que se denominó “la Gunter”, en la que aparecían escalas de logaritmos de los números y de los senos y tangentes de los arcos, fue utilizada por los ingleses, mientras que franceses y españoles se decantaron por el del cuadrante de reducción<sup>4</sup>.

Entre los muchos instrumentos, que fe han inventado para el vso de las ciencias Matematicas, el mas admirable, y vniversal entre ellos, es el Quadrante de Reduccion, por muchas razones llamado: Quadrante Dorado, por lo general en sus operaciones, y facil en su resolucion, que fin mucha necesidad de la Arithmetica fe refuelven por èl, aun las queftiones mas dificultofas de la Aftronomia, y Geometria, fin mas inteligencia, que el conocimiento de los terminos convenientes para refolucion de las propoficiones. (Gaztañeta, 1692: 1)

La invención de este instrumento se debe a Blondel Saint Aubin, que en 1676 publicó el *Tresor de la navigation*, en el cual trataba la forma de navegar por el cuartier o cuadrante de reducción (Llombart e Iglesias, 1998). Gaztañeta, a través de su obra el *Norte de la Navegación* (1692), es considerado el introductor en España del cuadrante de reducción y de la corredera, instrumento destinado a medir la velocidad del buque, que fue descrita en *A Regiment for the sea* por William Bourne en 1574. Por esta adopción de adelantos técnicos que procedían del exterior, Fernández de Navarrete (1846) consideró que dependíamos del

<sup>4</sup> Mediante el cuadrante de reducción se resolvían los problemas de la navegación de estima y posibilitaba reducir las leguas navegadas por un paralelo a grados y minutos de longitud.

extranjero de la producción de su industria y del entendimiento e ilustración. Durante el siglo xvii, la navegación, prácticamente siguió igual que en el xvi, en las que “el piloto dispone de altura, carta y aguja” (Guillén Tato, 1935: 38). Los progresos realizados en el campo de las matemáticas, la astronomía y la física repercutieron poco en el avance de la navegación práctica. El punto en la carta se seguía calculando por escuadría (latitud observada y rumbo), con la correspondiente corrección si no coincidían con el de fantasía (rumbo y distancia)<sup>5</sup>. Cabe destacar que, según cita García Franco (1947, vol. 1: 184-186), durante la primera mitad del siglo xvii, se obtenía la latitud por la altura meridiana de una estrella, la amplitud ortiva de las estrellas<sup>6</sup>, por dos alturas extrameridianas del Sol y el tiempo transcurrido entre ambas, por dos alturas del Sol o de una estrella y la distancia entre los correspondientes verticales, por alturas simultaneas de dos estrellas, por dos estrellas que tengan el orto o el ocaso en el mismo instante, por alturas correspondientes<sup>7</sup>. Según Ibáñez (2000) también empezaban a aplicarse las correcciones por refracción, semidiámetro y paralaje a las alturas observadas, a la vez que se introducía en la navegación, la astronomía y el triángulo esférico. Por estos hechos “el siglo xvii supuso un siglo de transición para el arte de navegar” (Ibáñez, 2000: 88). En definitiva, la aplicación a la navegación de los conocimientos en el campo de las matemáticas, física y la astronomía descubiertos en el xvii propició el paso a la navegación científica en el xviii, en el que el punto de fantasía y el de escuadría se quedaron atrás, debido a la posibilidad de calcular la longitud observada “altura lesteoeste”, surgido de un proceso investigador realizado en varios campos, fomentado a través del tiempo, desde países como España, Inglaterra, Portugal y Francia, llegándose a ofrecer importantes recompensas para quien resolviese el procedimiento por el cual se pudiese calcular la longitud geográfica, ya que se había convertido en un verdadero problema para cartógrafos, matemáticos y navegantes, afectando a la seguridad de la navegación<sup>8</sup>. Durante la segunda mitad del siglo xviii, los procedimientos de posicionamiento astronómicos sustituyeron los métodos empíricos que se venían utilizando para calcular el punto, posibilitando el paso del arte de navegar a la navegación astronómica científica, en la que el piloto se valió de la trigonometría esférica, tablas logarítmicas, instrumentos de reflexión, la medición de distancias lunares y buenos cronómetros<sup>9</sup>, facilitando el cálculo de la longitud geográfica en la mar, considerada por muchos como “límite puesto por Dios a la inteligencia humana”<sup>10</sup> y así lo indica Zaragoza (1675: 102). Esta preocupación permaneció hasta la primera mitad del siglo xviii como así queda reflejado por Cedillo (1745:102).

Por lo que, el propósito de este trabajo es realizar un estudio histórico, sobre los textos de pilotaje del siglo xviii, con el objetivo general de conocer la evolución de su estructura y contenido a través de los dos siguientes objetivos específicos: verificar si incluyeron los adelantos científicos aplicados a la navegación (de acuerdo con los hitos expuestos en la tabla 1, así como la aplicación de la trigonometría esférica y los logaritmos) y describir los métodos de posicionamiento utilizados.

5 Para un mejor conocimiento de los métodos de posicionamiento astronómico en la España de los Austrias véase Pintos (2020).

6 La amplitud ortiva, es el arco de horizonte, entre el punto donde sale el Astro y el verdadero Levante. La amplitud siempre es de la especie de la declinación (Cedillo, 1717: 13).

7 Se denomina así a la calculada por dos alturas iguales del astro, una a cada lado del meridiano.

8 El cálculo de la longitud por los métodos de distancias lunares y cronómetros ha sido ampliamente estudiado por García Franco (1947), Ibáñez (2000, 2011) y Sellés (2000), mientras que Sobel (1998) realiza un estudio monográfico sobre el cálculo de la longitud por el cronómetro.

9 Para la definición de navegación astronómica científica y sobre la invención de los instrumentos de reflexión véase García Franco (1947, vol. 1: 322 y vol. 2: 128).

10 Véase: Salvá y Sainz de Baranda (1852, vol. xxi: 221-222). Rey Pastor (1970: 82).

**Tabla 1.** Cronología de hitos

Concepto	Tipo y fecha
Instrumentos de reflexión	Octante de Hadley (1731) Sextante (1767)
Tablas lunares	Tablas lunares de Tobías Mayer (1755) Almanaque náutico (1767) Estado general de la Armada (1786)
Corrección de distancias angulares	Paralaje (Hiparco, siglo II a. de J. C.) Semidiámetro Refracción astronómica (Arquímedes, siglo III a. de J. C.) Depresión de horizonte Empezaron a utilizarse por los pilotos en el siglo XVIII
Cronómetros	H-5 (1772)

Fuente: Pintos (2021a)

Teniendo en cuenta que los libros de texto constituyen una de las principales vías de divulgación de los conocimientos científicos (León-Mantero *et alii*, 2020:117), para conseguir los objetivos propuestos realizamos una recopilación de los que se utilizaron en la formación de los pilotos, de acuerdo con unos determinados criterios establecidos para poder analizarlos, compararlos y finalmente presentar los resultados y conclusiones.

Existe una amplia profusión de estudios históricos referentes a los textos de navegación en la Edad Moderna, como los realizados por Arroyo (1989) en su estudio sobre las enseñanzas náuticas en España, que incluye un catálogo de los tratados sobre navegación que se editaron en el XVI (11), en el XVII (12) y en el XVIII (34), sin entrar a analizarlos; Llombart Palet y Hormigón (1990) en el marco de la Escuela de Náutica y Matemáticas de Bilbao analiza en sus aspectos generales el libro de Archer (1756); González González (1992) aporta una serie de textos editados en el XVI (10), en el XVII (7) y en el XVIII (14), de los que de una forma sucinta trata de sus aspectos generales; Sellés (2000) dentro del estudio de la navegación astronómica en el siglo XVIII revisa los aspectos generales de tres textos náuticos; Iglesias (2000) realiza un estudio comparativo desde el punto de vista matemático de 14 textos náuticos españoles del siglo XVIII; Ibáñez (2002) enumera con una breve reseña los tratados náuticos de los siglos XVI-XVIII; Manterola (2016) analiza la formación matemática de pilotos y guardiamarinas a través de 30 textos del siglo XVIII; Pintos (2021b) en el estudio sobre el paso del “arte de navegar” a la “navegación astronómica científica” con el objetivo de determinar el instante en que ocurrió ese tránsito analiza dos textos. No hemos encontrado ningún trabajo de investigación que analice a través del estudio de los métodos de posicionamiento astronómico incluidos en los textos, si estos, en su cálculo, incluyeron los adelantos del momento, por lo que consideramos que ahí radica la importancia y originalidad de este trabajo.

## 2. METODOLOGÍA

Para conseguir los objetivos marcados hemos seguido el método histórico, que nos ha permitido reunir evidencias de hechos ocurridos, hacer una aproximación histórica del problema a tratar y fijar su dimensión histórica. A tal efecto hemos seguido el proceso en cada una de sus fases: la heurística, la crítica, la hermenéutica y la exposición. En primer

lugar, hemos realizado una búsqueda de las fuentes y la bibliografía más relevante para nuestro estudio. Hay que señalar que esta búsqueda se ha prolongado más allá de las etapas iniciales de este proyecto, por las propias necesidades que su desarrollo iba planteando. La bibliografía relacionada sobre el tema se ha localizado fundamentalmente a partir de bases de datos, bibliotecas físicas y virtuales. Inicialmente consistió en libros y artículos básicos, relacionados con las enseñanzas náuticas y con la ciencia y la técnica aplicadas a la navegación.

A partir de la información obtenida, para el análisis de textos hemos contado con el corpus de textos de pilotaje utilizados en la formación de los pilotos en la Edad Moderna confeccionado por Pintos (2021a), del que hemos seleccionado los correspondientes al siglo XVIII<sup>11</sup>.

Una vez seleccionados los textos para analizar (7), utilizados en la formación de los pilotos españoles en el siglo XVIII, se realiza la evaluación de acuerdo con la metodología confeccionada exprofeso para los textos de náutica establecida por Ibáñez y Lombart (2001) en la que tiene en cuenta los aspectos generales, los contenidos concretos y la banda de modernidad.

*Los aspectos generales.* En esta fase se evalúan los aspectos que hacen referencia a su presentación física y a su contenido intelectual. En cuanto a la presentación física se evalúa la cubierta, el gramaje del papel, la encuadernación, el peso, el tamaño, la tipografía del papel, el interlineado, los márgenes, la paginación y la inclusión de un índice o tabla de contenidos. Por la naturaleza de las obras investigadas, no siempre es posible contar con los originales, motivo por el cual muchos de los parámetros incluidos no es posible evaluarlos. Al ser los textos que evaluar elementos educativos difusores del conocimiento náutico, los aspectos tenidos en cuenta son el autor a través de su trayectoria profesional, las fuentes utilizadas, otras publicaciones, reseñas realizadas a su obra, así como las reediciones; los elementos constitutivos de la obra, donde se destaca la finalidad de la misma y la aportación de un índice que de acceso a la información contenida en el texto; la estructuración de los contenidos en secuencias lógicas que faciliten el aprendizaje.

*Los contenidos concretos:* Los contenidos que comparar están relacionados con aquellos elementos que impulsaron la navegación astronómica científica y posibilitaron el cálculo de la longitud en la mar, así como los métodos de posicionamiento astronómico, los instrumentos de tomar alturas, las correcciones a las alturas observadas, la aplicación de la trigonometría esférica y los logaritmos. A la cobertura temática y la estructuración de contenidos realizados en los aspectos generales hay que tener en cuenta la objetividad en el tratamiento del tema y la exposición. En cuanto a la objetividad en el tema, atendemos al valor científico, la exactitud, la claridad de los conceptos desarrollados, así como prestando especial atención a los errores o inexactitudes y, en el caso de los textos que han sido

11 Cedillo y Rujaque, P. M. (1717): *Compendio de la arte de navegar*. Sevilla, Lucas Martín de Hermosilla; Cedillo y Rujaque, P. M. (1745): *Tratado de de cosmografía y náutica*. Cádiz, en la Imprenta Real de Marina, y Casa de la Contratación de don Miguel Gómez Guiráun; Sánchez Reciente, J. (1749): *Tratado de navegación y theorica, y practica fegun el orden, y Methodo, con que fe enfeña en el Real Colegio Seminario de Sr. S. Telmo, extramuros de la Ciudad de Sevilla*, Sevilla, Imprenta Castellana; Archer, M. (1756): *Lecciones náuticas, explicadas en el Museo Matemático del M.N. y M.L. Señorío de Vizcaya, Noble Villa de Bilbao*, Bilbao, Antonio de Eguzquisa Impresor de dicho M.N. y M.L. Señorío; Juan y Santacilia, J. (1757): *Compendio de navegación para el uso de los caballeros guardias-marinas*, Cádiz, en la Academia de los mismos Caballeros; Barreda, F. de (1765): *El marinero instruido en el arte de navegación especulativo, y práctico, según el método, con que se enseña a los colegiales del Real Seminario de Sr. San Telmo, extramuros de la Ciudad de Sevilla*. Sevilla; Bezout, E. (1781): *Cours de Mathématiques. A l'usage des gardes du Pavillon et de la Marine. Contenant le Traité de Navigation*. De L'Imprimerie De PH.- D. Pierres, Paris.

reeditados comprobar, si han sido corregidos o aumentados. En la exposición se tendrá en cuenta la claridad y sencillez del estilo, la utilización de notaciones simbólicas, figuras y ejemplos para una mayor comprensión de lo expuesto.

*Banda de modernidad.* Hemos tratado de delimitar la banda de modernidad, teniendo en cuenta la edición de cada uno de los textos analizados que se han utilizado en la formación de los pilotos, y el estado de la ciencia y técnica aplicada a la navegación en ese momento y como referencias: la definición de banda de modernidad: “La banda de modernidad de cada momento histórico no puede estar definida por la instantánea de los hallazgos, sino por la existencia de conjuntos humanos capaces de corresponderse entre sí en el proceso de comunicación.” (Hormigón, 1995: 161-162), y de acuerdo con la disciplina que se estudie “se podrá decidir qué autores se encontraban, en cada momento, dentro y fuera de la “banda de modernidad” correspondiente, determinando su ignorancia o su grado de aceptación de las novedades y, en cada caso, sus implicaciones docentes” (Ibáñez y Llombart, 2001: 144).

### 3. RESULTADOS

En este apartado hemos presentado los datos obtenidos en la investigación realizada sobre los textos de pilotaje correspondiente a los aspectos generales, en el que destacamos la presentación física, el contenido intelectual y cómo evolucionaron durante el periodo de estudio; los contenidos concretos referidos a los elementos que impulsaron la navegación astronómica científica así como los métodos de posicionamiento astronómico, para finalmente abordar la banda de modernidad.

#### 3.1 Aspectos generales

En lo que se refiere a la presentación física de los textos, se han evaluado aquellos aspectos que las limitaciones de utilizar sus reproducciones nos han permitido. Las dimensiones de los textos no siguen un criterio común, oscilan entre los 30 cm de Barreda a los 15 cm de los textos de Cedillo (1717, 1745). Excepto el de Barreda (1765), que está en formato de folio menor, el resto de los autores presentaron sus textos en las distintas variedades de tamaños del “cuarto” y del “octavo” que Ibáñez (2000), citando a Martínez de Sousa, considera que son los tamaños adecuados para los textos de estudio. Del análisis realizado, se desprende que el tamaño de los textos nada tiene que ver con el periodo en el que se escribió. En general podemos decir que la tipografía empleada es la adecuada.

En cuanto al contenido intelectual, la trayectoria profesional de la mayoría de los autores está marcada por su pertenencia a la formación de pilotos y a la enseñanza militar, entre los que destacan: Pedro Manuel Cedillo por su labor pedagógica tanto como tratadista de obras náuticas como de maestro de matemáticas en el Real Colegio Seminario de San Telmo de Sevilla y posterior director de la Academia de Guardiamarinas de Cádiz; Miguel Archer, por lo que significó su plan de estudios establecido en la Escuela de Náutica de Bilbao en 1742 y la edición de su libro en 1756; y Jorge Juan, por su indiscutible obra científica tanto en la astronomía como en la ingeniería naval. Las reseñas que se conocen de las obras de los autores analizados son favorables a excepción de la de Barreda.

Los libros de Cedillo (1717, 1745) se reeditaron en 1730 el primero y en 1750 el segundo. El de Barreda (1765) incomprensiblemente se reeditó en 1786 justo cuando el colegio de San Telmo de Sevilla ponía en marcha un nuevo plan de estudios, en el que se incluía el cálculo de la longitud por distancias lunares y cronómetro. El texto de Juan (1757) fue extractado por Mazarredo en 1790, incluyéndole el cálculo de la longitud por distancias lunares y cronómetro. El de Bezout (1781) fue el texto que mayor número de reediciones/reimpresiones conoció.

En cuanto a los factores internos que afectan a los elementos constitutivos, no todos los textos cumplen con los preceptos de la legislación en materia de impresión que estuvieron

en vigor durante la Edad Moderna en España, cuyo fin era intervenir el contenido del libro mediante el privilegio de impresión, la censura y la tasa. El privilegio de impresión lo cumplen todos los textos. En cuanto a la censura la contienen los libros de Cedillo (1717, 1745), Sánchez Reciente (1749), Barreda (1765) y el de Juan (1757). En lo que se refiere a la tasa, aunque se especifica que se tase, frecuentemente no aparece el precio final al que ha de venderse el texto. Cuentan con fe de erratas los textos de Archer (1756) y Juan (1757).

Todos los autores incluyen al inicio de la obra un prólogo en el que explica con más o menos detalle lo que les mueve a escribir la obra, a quien va dirigida y su contenido. Los autores utilizan indistintamente el prólogo o el cuerpo de la obra para citar sus fuentes.

Todos los autores incluyen en su obra imágenes de buena calidad, mientras que Cedillo (1717) las intercala en el texto como herramienta de aprendizaje, el resto de autores las presentan en láminas al final del texto.

Para analizar la cobertura temática de los textos, solo hemos tenido en cuenta aquellas materias que se incluyen dentro del paginado del texto, por lo tanto, las láminas de dibujo como las tablas útiles para la navegación que no están paginadas no figuran en la tabla 2.

Los autores abordan el contenido de su obra de pilotaje desde tres ópticas diferentes, situando su punto de convergencia en la materia Navegación. Tratan sobre Cosmografía y Navegación: Cedillo (1717, 1745), Sánchez Reciente (1749), Barreda (1765) y Bezout (1781), sobre Cosmografía Navegación y Fundamentos de Matemáticas: Archer (1756) y Juan (1757) solo lo hace sobre Navegación. En cuanto al peso de cada materia sobre el total predomina la navegación.

**Tabla 2.** Composición porcentual de los textos por materias (% del total de páginas)

Autor	Cosmografía	Navegación	Derrotero	Tablas	Apéndices	Matemáticas
Cedillo (1717)	13´2	58´4	-	17´9	10´5	-
Cedillo (1745)	44´6	55´4	-	-	-	-
Sánchez Reciente (1749)	21´1	78´9	-	-	-	-
Archer (1756)	6´7	43´3	-	25´8	-	24´2
Juan (1756)	-	100	-	-	-	-
Barreda (1765)	16´4	83´6	-	-	-	-
Bezout (1781)	30´3	69´7	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la cobertura temática realizado nos ha permitido delimitar cómo se han estructurado las obras estudiadas, en la que predomina la línea general de diferenciar la parte

correspondiente a Cosmografía de la de Navegación. En cuanto al contenido de las obras, se experimentan dos grandes cambios: el que encarna Archer (1756), que presenta una obra totalmente alejada de la línea de las escritas por Cedillo (1717, 1745), que siguen Sánchez Reciente (1749) y Barreda (1765), a la vez que introduce el estudio del octante en su obra que, por otra parte, ya se venía estudiando en la Escuela de Náutica en Bilbao desde 1742 y el de Bezout (1781) que incluye todos los elementos constitutivos de la navegación astronómica científica.

### 3.2. Contenidos concretos

#### 3.2.1. Correcciones que aplicar a la altura observada

*Cobertura temática:* A pesar de ser conocida desde la antigüedad, las correcciones que aplicar a las alturas observadas Cedillo (1717) no las aplica. Por otra parte Sánchez Reciente (1749) únicamente aplica la corrección por semidiámetro, a pesar de conocer la existencia del resto de correcciones que aplicar, sin tener en cuenta refracciones y paralajes como explicita en su texto. Mientras que, Cedillo (1745), Archer (1756), Juan (1757), Barreda (1765) y Bezout (1781) a excepción de la paralaje, tras despreciarlo por considerarla insensible, aplican el resto de las correcciones, aunque Barreda (1765) no entra en su explicación las aplica presentado las mismas tablas que Cedillo (1745) sin referenciarlas. En cuanto la amplitud con la que es tratada la corrección a las alturas por los autores prácticamente no existe diferencia. Ninguno de los autores que las tratan recomienda lecturas complementarias.

*Organización del contenido:* Los tres autores que tratan las correcciones le prestan la misma atención a cada una de ellas, aunque las presentan en distinto orden.

*Objetividad:* No hemos detectado que ninguno de los autores cometa omisiones, reiteraciones, errores. Solo hemos trabajado con primeras ediciones.

*Exposición:* Los autores exponen los conceptos de forma ordenada y clara, apoyados por figuras en láminas al final del texto, Archer (1756) añade dos ejemplos. A lo largo del texto no encontramos resúmenes ni esquemas.

#### 3.2.2. La trigonometría esférica y los logaritmos

*Cobertura temática:* En el de Cedillo (1745) aparece la trigonometría esférica y los logaritmos de forma conjunta, mientras que en los de Archer (1756), Juan (1757), Barreda (1765) y Bezout (1781) realizan operaciones de forma conjunta y por separado. Cedillo (1745) las aplica al cálculo del azimut del Sol. Archer (1756) para el cálculo de la amplitud y azimut de un astro, también Juan (1757) las aplica al cálculo del azimut de un astro. En cambio, Barreda (1765) las utiliza para el cálculo de: la latitud de un clima, amplitud y azimut de un astro, y la hora del orto y del ocaso del Sol y la declinación del Sol, mientras que en la obra de Bezout (1781) están presentes a lo largo de todo el texto utilizados como recurso didáctico para una mejor explicación y comprensión del tema tratado. Ninguno de los autores recomienda lecturas complementarias.

*Organización del contenido:* en este caso el contenido está organizado según las necesidades de los conceptos tratados.

*Objetividad:* No hemos detectado que ninguno de los autores cometa omisiones, reiteraciones, errores. Solo hemos trabajado con primeras ediciones.

*Exposición:* Los autores exponen los conceptos de forma ordenada y clara apoyándose en ejemplos resueltos y por figuras en láminas al final del texto. A lo largo del texto no encontramos resúmenes ni esquemas.

#### 3.2.3. Instrumentos de reflexión (octante)

*Cobertura temática:* Excepto Cedillo (1717, 1745) y Sánchez Reciente (1749), el resto de los autores incluye el octante, pero con perspectivas diferentes. Archer (1756)

y Barreda (1765) lo hacen de forma meramente descriptiva, sin entrar en la teoría del octante, el punto inicial o de paralelismo, ni de cómo se deben poner las divisiones de las transversales o diagonales para una perfecta lectura de la medición efectuada, mientras que Juan (1757) y Bezout (1781) además corrigen errores de medición de este instrumento. Por otra parte, Juan (1757) incluso incluye una serie de mejoras. Aunque ninguno de los autores recomienda lecturas complementarias, Archer (1756) referencia el estudio sobre el octante realizado por Ulloa (1748).

*Organización del contenido:* Archer (1756) y Barreda (1765) le dan una orientación práctica, útil para poder manejar el instrumento y conocer si está bien construido. Mientras, Juan (1757) y Bezout (1781) lo estudian en profundidad explicando y demostrando sus principios, a la vez que indican los errores que arrastra y en el caso de Juan (1757) con propuestas de mejora.

*Objetividad:* No hemos detectado que ninguno de los autores cometa reiteraciones ni errores, pero sí omisiones, como en las que incurren Archer (1756) y Barreda (1765) al no incluir los principios que rigen el instrumento.

*Exposición:* Los autores exponen los conceptos de forma ordenada y clara, aunque con desigual profundidad. Aportan al final del texto una figura ilustrativa del octante a lo que Juan (1757) añade siete figuras para ilustrar sus explicaciones. A lo largo del texto no encontramos resúmenes ni esquemas.

#### 3.2.4. Métodos de posicionamiento astronómico

El cálculo de la latitud y de la longitud se realizaba de forma autónoma, al no haber sido inventados los métodos de posicionamiento astronómico que posibilitan el cálculo conjunto de las dos coordenadas geográficas. En este trabajo hemos analizado los distintos métodos de calcular la latitud y la longitud observada contenidos en los textos de pilotaje expuestos en la tabla 3, lo que nos ha permitido conocer el instante en que incluyeron los métodos de posicionamiento astronómico que completan los elementos constitutivos de lo que hemos considerado la navegación astronómica científica.

**Tabla 3.** Cálculo de las coordenadas geográficas por autor.

Autor	Cálculo latitud					Cálculo longitud	
	Paso m.s.	Paso m.i.	Polar	Cruz del Sur	Fuera meri.	Dista. lunares	Relojes
Cedillo (1717)	X	X	X	-	-	-	-
Cedillo (1745)	X	X	X	-	-	-	-
Sánchez Reciente (1749)	X	X	X	-	-	-	-
Archer (1756)	X	X	-	-	X	-	-
Juan (1756)	X	-	-	-	-	-	-
Barreda (1765)	X	X	X	-	-	-	-
Bezout (1781)	X	-	-	-	X	X	X

Fuente: Elaboración propia

*Cobertura temática:* Los métodos para el cálculo de la latitud observada en la mar durante el periodo comprendido en este trabajo prácticamente permanecieron invariables, hasta la segunda mitad del siglo XVIII. Así, Cedillo (1717, 1745), Sánchez Reciente (1749) y Barreda (1765) utilizan para el cálculo de la latitud los procedimientos de los libros de navegación del siglo XVI, empleando para el caso de la meridiana, la regla de la sombra. Lo mismo ocurre con el resto de los métodos para el cálculo de la latitud. Archer (1756), Juan (1757) y Bezout (1781), aunque tampoco utilizan una forma general para el cálculo de la latitud, demuestran las reglas que exponen para su cálculo. Todos los autores soportan la exposición de los contenidos con ejemplos e ilustraciones de buena calidad. El cálculo de la longitud solo lo incluye Bezout (1781), que presenta tres métodos: por las cartas de la variación magnética, por cronómetros y por la observación de cualquier fenómeno celeste (distancias lunares). De estos desecha el obtenido por las cartas de variación magnética por poco seguro. Fundamenta los métodos por distancias lunares y cronómetro afianzándolo con la presentación de ejemplos e ilustraciones.

*Objetividad:* No hemos detectado que ninguno de los autores cometa reiteraciones ni errores, pero sí omisiones. Así, en el caso del cálculo de la latitud, Juan (1757) y Bezout (1781) no contemplan el paso del astro por el meridiano inferior; Archer (1756), Juan (1757), Barreda (1765) y Bezout (1781) no lo hacen por la Polar; y Cedillo (1717, 1745), Sánchez Reciente (1749), Juan (1757) y Barreda (1765) no incluyen fuera del meridiano.

*Organización del contenido:* Cedillo (1745), Sánchez Reciente (1749) y Barreda (1765) continúan la línea pedagógica iniciada por Cedillo (1717), en la que los contenidos se explican de forma farragosa pero bien estructurada. Por otra parte, los textos de Archer (1756), Juan (1757) y Bezout (1781) corresponden a una nueva forma de enseñar el pilotaje en la cual prima lo deductivo sobre lo práctico.

#### 4. BANDA DE MODERNIDAD

Teniendo en cuenta lo expuesto en el apartado Metodología, el que se delimita la banda de modernidad de acuerdo con Hormigón (1995) e Ibáñez y Llombart (2001), podemos considerar que se encontraban dentro de la banda de modernidad Cedillo (1717), Archer (1756), Juan (1757), Barreda (1765) y Bezout (1781). Quedan fuera Cedillo (1745) y Sánchez Reciente (1749), por no incorporar el octante. En cada caso, la no inclusión del octante y su posible no explicación en las aulas denota por una parte no estar al corriente de los adelantos técnicos del momento con el consiguiente perjuicio para los alumnos.

#### 5. CONCLUSIONES

Durante el periodo de estudio que abarca esta investigación, la ciencia náutica evolucionó hasta conseguir resolver el problema del cálculo de la longitud mediante la utilización de los instrumentos de reflexión (1731), las tablas lunares (1767) y el cronómetro (1772), por lo que en 1772, con el H-5 comprobado y revisado, por fin se había completado el proceso y despejada la preocupación a la que aludía Cedillo (1745).

En lo que se refiere a los textos de pilotaje, incluyeron las correcciones a las alturas observadas, la trigonometría, los logaritmos y los instrumentos de reflexión, abandonando las reglas memorizadas, dando paso a la resolución de los cálculos de forma razonada, mediante el conocimiento de la ciencia aplicada a la navegación.

Todos los textos a excepción del de Bezout (1781) se editaron en una franja temporal comprendida entre 1717 y 1765, lo que imposibilita que puedan contar con adelantos que aún no habían sido inventados o descubiertos. Lo que no es comprensible es que la resolución de un problema de la magnitud de la longitud en la mar, que era y es de vital importancia, no conllevara la revisión de los textos de pilotaje –que fueron utilizados durante

el siglo XVIII— para su inclusión y que la reimpresión en 1786 del texto de Barreda (1765), no contase con el cálculo de la longitud por distancias lunares y por cronómetros. La inclusión de estos dos métodos en un libro de navegación español tuvo que esperar a las reimpresión por Mazarredo (1790) del *Compendio de navegación* (1790) de Jorge Juan que tituló *Lecciones de navegación para el uso de las compañías de guardias marinas*.

Impuesto por la ciencia del momento, los textos analizados correspondientes a la franja temporal 1717-1765 como método de posicionamiento astronómico únicamente enseñan el cálculo de la latitud observada por cuatro procedimientos, desarrollando la solución en cada uno de ellos, a falta de una fórmula general. En cuanto al cálculo de la longitud, el texto de Bezout (1781) fue el primero de los textos de pilotaje que enseña a obtener la longitud en la mar tanto por distancias lunares como por cronómetro.

Para finalizar, en general los autores de los textos de pilotaje españoles no fueron sensibles a los nuevos conocimientos que la ciencia náutica puso a su disposición: el octante tardó 25 años en incluirse en un texto y el cálculo de la longitud por distancias lunares y cronómetros no estuvo disponible hasta que el plan de estudios de 1786 estipuló como libro de texto el de Bezout (1781), lo que supone 19 años después de la aparición de las tablas lunares y 14 años del cronómetro.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alberola Romá, A. y Die Maculet, R. (2013): *Jorge Juan y Santacilia: ciencia, educación y enseñanza en la España del siglo XVIII*. Jorge Juan y la ciencia ilustrada en España (pp. 63-82), Madrid, Ministerio de Defensa.
- Alfonsini, L. (2011): Étienne Bézout (1730-1783), Mathématicien del lumières. Paris, L'Harmattan.
- Archer, M. (1756): *Lecciones náuticas, explicadas en el Museo Matemático del M.N. y M.L. Señorío de Vizcaya, Noble Villa de Bilbao*, Bilbao: Antonio de Eguzquisa Impresor de dicho M.N. y M.L. Señorío.
- Arroyo Ruiz-Zorrilla, R. (1989): *Apunte para una historia de la enseñanza de la náutica en España*, Madrid, Centro de Publicaciones del Ministerio de Transportes Turismo y Comunicaciones.
- Barreda, F. de (1765): *El marinero instruido en el arte de navegación especulativo, y práctico, según el método, con que se enseña a los colegiales del Real Seminario de Sr. San Telmo, extramuros de la Ciudad de Sevilla*, Sevilla.
- Bezout, E. (1781): *Cours de mathématiques. A l'usage des gardes du Pavillon et de la Marine. Contenant le Traité de Navigation*, De L'Imprimerie De PH.- D. Pierres. Paris.
- Bourne, W. (1574): *A Regiment for the Sea: Conteyning most profitable Rules, Mathematical experiences, and perfect knowledge of Navigation, for all Coastes and Countreys: most needefull and necessarie for all Seafaring men and Travellers, as Pilotes, Mariners, Marchants, &c.* London, H. Bynneman for Thomas Hacket.
- Cedillo y Rujaque, P. M. (1717): *Compendio de la arte de navegar*, Sevilla, Lucas Martín de Hermosilla.
- (1745): *Tratado de de cosmografía y náutica*, Cádiz: En la imprenta Real de Marina, y Casa de la Contratación de don Miguel Gómez Guiráun.
- Cotter, C. H. (1968): *A history of nautical astronomy*, London-Sydney-Toronto, Hollis y Carter.
- Fernández de Navarrete, M. (1846): *Disertación sobre la historia de la náutica y de las ciencias matemáticas. Que han contribuido á sus progresos entre los españoles*, Madrid, Imprenta de la viuda de Calero.
- García Franco, S. (1947): *Historia del arte y ciencia de navegar. Desenvolvimiento histórico de los cuatro términos de la navegación*, 2 volúmenes, Madrid, Instituto histórico de Marina.

- García Garralón, M. (2007): *Taller de mareantes: El Real Colegio Seminario de San Telmo de Sevilla (1681-1847)*, 2 volúmenes, Sevilla, Cajasol Obra Social.
- García Sevillano, J. (1736): *Nuevo régimen de navegación*, Madrid, Joaquín Sánchez.
- Gaztañeta Yturribalga, A. (1692): *Norte de la navegación hallado por el cuadrante de reducción*, Sevilla: por Juan Francisco de Blas impresor mayor de dicha ciudad.
- (1693): *Cuadrante geométrico universal para la conversión esférica a lo plano, aplicado al arte de navegar*.
- González González, F. J. (1992): *Astronomía y navegación en España siglos XVI-XVIII*, Madrid: Mapfre.
- (2006): Del arte de marear a la navegación astronómica: Técnicas e instrumentos de navegación en la España de la Edad Moderna, *Cuadernos de Historia Moderna*, 135-166.
- Guillén Tato, J. F. (1935): *La náutica española en el siglo XVII*, Madrid, Gráfica Universal.
- Hewson, J.B. (1983): *A history of the practice of navigation*. Glasgow. Brown, Son & Ferguson, Limited.
- Hormigón, M. (1995): *Paradigmas y matemáticas: Un modelo teórico para la investigación en historia de las matemáticas*, Zaragoza.
- Ibáñez Fernández, M. D. (2000): *La difusión de conocimientos náuticos en la España decimonónica: La navegación astronómica en los textos de náutica españoles del siglo XIX*. Tesis doctoral. Bilbao: Universidad del País Vasco.
- (2002): Tratados españoles de náutica (siglos XVI-XVII). *Historia Naval. Instituto de Historia Naval*, 20 (76), 35-57.
- (2011): Evolución de la navegación astronómica en el siglo XIX, *Eusko Ikaskuntza*, 209-242.
- Ibáñez Fernández, y Llombart, J. (2001): La comparación de textos en historia de la ciencia: Una propuesta metodológica. *Lull. Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 24 (49), 131-148.
- Iglesia Martín, M.A. (2000): *Estudio comparativo desde el punto de vista matemático de textos náuticos españoles del siglo XVIII*. Tesis doctoral. Leioa, Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- Juan y Santacilia, J. (1757): *Compendio de Navegación para el uso de los caballeros guardias-marinas*, Cádiz, En la Academia de los mismos Caballeros.
- Juan y Santacilia y Ulloa, A. (1748): *Observaciones astronómicas y físicas hechas en los Reynos del Perú, Reynos del Perú, por D. Jorge Juan, Comendador de Aliaga en el Orden de S. Juan, Socio Corresponsiente de la R. Academia de las Ciencias de París, y D. Antonio Ulloa, de la R. Sociedad de Londres, ambos Capitanes de Fragata de la R. Armada de las cuales se deduce la figura y magnitud de la tierra y se aplica a la Navegación*. Madrid, Por Juan de Zuñiga.
- Koyré, A. (1990): *Estudios galileanos*, Quinta edición, Madrid, Siglo veintiuno de España Editores, S.A.
- Laguarda Trías, R. A. (1959): *Comentarios sobre los orígenes de la navegación astronómica*, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto Histórico de Marina.
- León Mantero, C., Santiago, A., Gutiérrez, M.P. (2020): "El método de máximos y mínimos en los libros de texto españoles", *En las matemáticas en España durante el siglo XVIII a través de los libros y sus autores*, Salamanca, Editorial Universidad, pp. 115-133.
- Llombart Palet, J, y Hormigón Blázquez, M. (1990): Un libro de texto de la escuela de náutica y matemáticas de Bilbao en el siglo XVIII, en R. Codina y R. Llobera Jiménez, (Coords.), *Historia, ciencia i ensenyament: Actes del III Simpòsium d'Ensenyament i Història de les Ciències i de les Tècniques*, Barcelona, 1988, 439-452.

- Llombart Palet, J., y Iglesias Martín, M. A. (1998): Las aportaciones vascas al “arte de navegar” en algunos libros de náutica, *Itsas memoria: revista de estudios marítimos del País Vasco*, (2), 525-536.
- López Piñero, J. M. (1979): *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*, Barcelona, Labor, S.A.
- Louzán Lago, F. (2005): *Génesis y evolución de los instrumentos de alturas usados en navegación: Análisis de los errores cometidos durante las observaciones*. Tesis doctoral. A Coruña, Universidade da Coruña.
- Manterola Zabala, M. (2016): *Las matemáticas en los estudios de náutica en España en el siglo XVIII: Estudio comparativo de los libros de texto empleados en la formación de pilotos y guardiamarinas*. Tesis doctoral. Universidad de la Rioja: Programa de Doctorado de Ingeniería Eléctrica, Matemáticas y Computación. Departamento de matemáticas y Computación.
- Martínez Ruiz, E. (2013): La España Ilustrada de Jorge Juan. Jorge Juan y la ciencia ilustrada en España. *Instituto de Historia y Cultura Naval XLVII Jornadas de Historia Marítima*. Ciclo de Conferencias, (68), 13-43, Madrid, Ministerio de Defensa.
- Mazarredo Zalazar, J. (1790): *Lecciones de navegación para el uso de las compañías de guardias marinas*. Isla de León, Imprenta de su Academia.
- Navarro Brotons, V. (2014): *Disciplinas, saberes y prácticas. Filosofía natural, matemáticas y astronomía en la sociedad española de la época moderna*, Valencia, Universitat de València.
- Navarro Loidi, J.M. (2008): El número e en los textos matemáticos españoles del siglo XVIII. “*Quaderns d’història de l’enginyeria*”, 2008, vol. 9, p. 145-166.
- Pintos Amengual, G. (2020): Evolución del cálculo de la latitud por la altura meridiana incluido en los textos para la formación de los pilotos de la Carrera de Indias en tiempo de los Austrias, *Naveg@mérica. Revista electrónica editada por la Asociación Española de Americanistas*, (25).
- (2021a): *La transición a la navegación astronómica científica y la formación de los pilotos españoles, siglo XVI-XVIII*. Tesis doctoral. Escuela de Ingenieros de Bilbao.
- (2021b): La influencia del Museo Matemático de Bilbao (1742) y las “Lecciones náuticas” (1756) de Miguel Archer, en el tránsito del “arte de navegar” a la “navegación astronómica científica” en la formación de los pilotos españoles, *Llull: Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, Año 2021, Vol. 44, Número 88.
- Rey Pastor, J. (1970): *La ciencia y técnica en el descubrimiento de América*, Buenos Aires, Espasa Calpe.
- Salvá, M. y Sainz de Baranda, P. (1852): *Colección de documentos inéditos para la historia de España*, Madrid, Imprenta de la Viuda de Calero, Volumen 21.
- Sánchez Martínez, A. (2010): *La voz de los artesanos en el Renacimiento científico. Cosmógrafos y cartógrafos en el preludio de la nueva filosofía natural*. Arbor Ciencia, Pensamiento y Cultura, May./Jun., 2010, vol. CLXXXVI, p. 456.
- Sánchez Reciente, J. (1749): *Tratado de navegación y theorica, y practica fegun el orden, y Methodo, con que fe enfeña en el Real Colegio Seminario de Sr. S. Telmo, extramuros de la Ciudad de Sevilla*. Sevilla, Imprenta Caftellana.
- Sellés García, M. A. (2000): *Navegación astronómica en la España del siglo XVIII*, Madrid, Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Sobel, D. (1998): *Longitud*, Madrid: Debate, S.A.
- Vázquez Lijó, J. M. (2006): La Matrícula de Mar y sus repercusiones en la Galicia del siglo XVIII. *Oh: Obradoiro De Historia Moderna*, (15). <https://doi.org/10.15304/ohm.15.919>

- Vázquez Queipo, V. (1967): *Tablas de los logaritmos vulgares de los número desde 1 hasta 20 000 y de las líneas trigonométricas*, Madrid, librería y casa editorial Hernando, S.A.
- Zaragoza y Vilanova, B. J. de. (1675): *Esfera en común celeste y terráquea*, Madrid, Juan Martín del Barrio.