

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

GABRIEL PINTOS AMENGUAL
Universidad del País Vasco

Resumen

Este artículo trata de poner de manifiesto el impacto que tuvieron el 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. Para ello, primero se abordan los elementos que constituyeron la transición. Una vez establecidos, se enfrenta el plan de estudios seguido en el Colegio de San Telmo de Sevilla, que databa de 1552 hasta 1748, fecha en que se promulgaron las Ordenanzas Generales de la Armada, con el del Museo Matemático de Bilbao, ideado por el piloto particular Miguel Archer. Finalmente, a través del análisis de los planes de estudios y los textos utilizados en ambas instituciones, se determina que el Museo Matemático de Bilbao y las *Lecciones Náuticas* [1756] de Miguel Archer significaron el inicio de la “Transición de la Navegación Astronómica Científica” en España.

Abstract

This article tries to show the impact that the Museo Matemático de Bilbao [1742] and the *Lecciones Náuticas* [1756] of Miguel Archer had, in the transit of the “Art of Navigation” to the “Astronomical Scientific Navigation” in the formation of Spanish merchant navy officer. To do this, the elements that constituted the transition are first addressed. Once established, the curriculum followed at the Colegio de San Telmo in Seville, dating from 1552 to 1748 that the Ordenanzas Generales de la Armada was promulgated, was confronted with that of the Museo Matemático de Bilbao devised by the merchant navy officer Miguel Archer. Finally, through the analysis of the curricula and the texts used in both institutions, it is determined that the Museo Matemático de Bilbao y las *Lecciones Náuticas* [1756] of Miguel Archer meant the beginning of the “Transition of the Scientific Astronomical Navigation” in Spain.

Recibido el 10 de septiembre de 2019 — Aceptado el 9 de enero de 2020

<https://doi.org/10.47101/llull.2021.44.88.pintos>

LLull, Vol. 44 (N.º 88) 2021 - ISSN: 0210-8615, pp. 49-78

Palabras claves: Miguel Archer. Museo Matemático de Bilbao. Transición a la Navegación Astronómica Científica. Pilotos. Planes de Estudio.

Key words: Miguel Archer. Museo Matemático de Bilbao. Transition to Scientific Astronomical Navigation. Merchant navy officer. Curriculum.

1. INTRODUCCIÓN

Las enseñanzas náuticas, a través de la formación de los pilotos, tienen una larga trayectoria en España, que se inició con la creación del cargo de piloto mayor¹ dentro de la Casa de la Contratación de Sevilla², creada para, entre otras funciones, estimular, encauzar y controlar el tráfico marítimo con el nuevo mundo, rasgos entre otros, que constituyeron los orígenes del mercantilismo castellano³.

Durante la Edad Moderna la formación de los pilotos evolucionó, desde aquella inicial especificación, de cómo tenía que ser esa formación “[...] sean instruidos y sepan lo que es necesario de saber en el cuadrante e astrolabio, para que junta la práctica con la teórica, [...]” [PULIDO RUBIO, 1950, p. 67], hasta el avanzado programa de estudios diseñado por el Consejo de Indias en 1786 para el Colegio de San Telmo de Sevilla, en el que se incluyeron los métodos astronómicos científicos para la obtención de la longitud en la mar, materias como las matemáticas sublimes, la mecánica, el comercio y los idiomas, tendentes a darle al piloto un perfil científico⁴.

En este espacio de tiempo, los pilotos, de una forma lenta, se fueron introduciendo en la resolución de los métodos astronómicos para el cálculo de la posición en la mar mediante los adelantos científicos y técnicos de cada momento, junto con la utilización del aparato matemático, hasta poder llegar a aplicar en la práctica la navegación astronómica científica a bordo de los buques⁵. Y así se fue reflejando de forma gradual en los libros donde se formaban: GARCÍA DE CÉSPEDES [1606], en su *Regimiento de Navegación*, introduce la utilización de la aritmética, la geometría euclidiana y advierte del pequeño error en el que se puede incurrir al no aplicar la corrección por paralaje a las alturas observadas de los astros. Pedro M. Cedillo, en el *Compendio de la Arte de Navegar* [1717], da a conocer el cuadrante de dos arcos; y en el *Tratado de Cosmographía y Nautica* [1745] ya utiliza el triángulo de posición resolviéndolo mediante el uso de logaritmos y aplica las siguientes correcciones a las alturas observadas: paralaje, refracción astronómica, semidiámetro y depresión del horizonte. Miguel Archer, en sus *Lecciones Nauticas* [1756], introduce el octante y normaliza la utilización de la trigonometría esférica, el triángulo de posición, los logaritmos y las cuatro correcciones a las alturas observadas. Así, la formación de los pilotos evolucionó desde la navegación intuitiva a la empírica, hasta llegar a la especulativa, pudiendo considerar que con los textos de Bezout [1781, 1782] y el de Mazarredo [1790] culminó en España el proceso de transición a la navegación astronómica científica en lo que se refiere a la enseñanza de los pilotos, al introducir en sus textos el sextante y el cálculo de la longitud en la mar por distancias lunares⁶ y por cronómetro⁷.

Desde finales del siglo XX, en la bibliografía náutica española abundan trabajos en los que se utiliza el concepto de “Transición del Arte de Navegar” a la “Ciencia”, para etiquetar el paso de una navegación fundamentada en lo intuitivo y empírico a lo especulativo, en el que el piloto estuvo en disposición de utilizar los adelantos del momento para poderse situar en la mar por medios astronómicos, basados en la “Ciencia”. Al considerar que esa etiqueta no identifica el momento definido, en este trabajo introducimos el término “Transición a la Navegación Astronómica Científica” por creer que se ajusta más al periodo que tratamos.

La corriente encabezada por SELLÉS y LAFUENTE [1984, pp. 170– 171] considera que con la obra de JUAN [1757] se inicia una nueva ciencia náutica, diferenciándola de los demás tratados anteriores que dividían la navegación en teórica y práctica, en la que la teórica⁸ enseñaba los preceptos astronómicos e hidrográficos y las explicaciones para construir los instrumentos náuticos, continúan SELLÉS y LAFUENTE [1984, p. 171] que con Jorge Juan cambia el punto de vista, al dividir en dos la navegación, una que tiene sus reglas limitadas y la otra que se vale de las ciencias. Esta corriente la sigue: SELLÉS [1988, p. 177] al expresar que el *Compendio de Navegación* de JUAN [1757] concibe, por primera vez en España, una navegación por estima⁹ científicamente, continúa SELLÉS [2000, p. 128] considerando que la obra de JUAN [1757] es donde hay que focalizar la transición a la navegación científica en España.

En el mismo sentido que Sellés, se expresan CASADO RABANAL [2009, p. 232] y GONZÁLEZ GONZÁLEZ [2013, p. 359], mientras que GARCÍA GARRALÓN [2009, p. 331], en lo que se refiere a la formación, establece dos momentos diferentes en la transición: uno, en 1757, a partir del *Compendio de Navegación* de JUAN [1757] para los oficiales de marina y otro, para los pilotos santelmistas, en 1778, por la implantación del método de enseñanza de las matemáticas y las facultades náuticas en las tres clases en el Colegio de San Telmo de Sevilla. Frente a esa línea de pensamiento se sitúa IBÁÑEZ [2000, p. 88] que defiende que la transición se inició en el siglo XVII, con la introducción de las correcciones a las alturas observadas, la astronomía y el triángulo de posición en los manuales de navegación.

Este artículo, está enmarcado en la investigación que estamos realizando sobre “La Transición a la Navegación Astronómica Científica”, en el que abordamos el proceso con una nueva línea de trabajo, fundamentada en los siguientes elementos:

- El concepto de “Navegación Astronómica Científica”, de acuerdo con:

[...] la navegación astronómica científica, practicada cuando el marino pierde las costas de vista, y en la que los métodos de cálculo para obtener el punto se auxilian de tablas logarítmicas y especiales, buenos sextantes y aceptables cronómetros. Puede decirse que la “navegación astronómica” no fué dueña del mar hasta que se perfeccionó el método de distancias lunares. [GARCÍA FRANCO, 1947, Vol. II, p.128].

- La relación de la invención de los instrumentos de reflexión con la medida de las distancias lunares, según:

La medición de la distancia Luna–astro no exigió, en ningún momento, la invención de instrumentos adecuados. Los mismos octantes y sextantes de reflexión empleados para la obtención de alturas servían para el caso, y hasta en varias de las Memorias escritas por los inventores de éstos se lee que

fueron delineados simplemente para medir distancias lunares, apareciendo en segundo lugar la utilización del instrumento para obtener alturas. [GARCÍA FRANCO, 1947, Vol. I, p. 322]

- Los planes de estudio y los textos destinados a la formación de los pilotos relacionados con los avances de la ciencia y la técnica.
- La cronología de hitos para el cálculo de la longitud en la mar expuesta en la Tabla 1.

Tabla 1: Cronología de hitos. Fuente: Elaboración propia

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)

Estas consideraciones, junto con que dentro del concepto de navegación astronómica sólo tienen cabida aquellos procedimientos que para calcular la situación del buque utilizan la observación de los astros [SELLÉS, 2000, p.12], han constituido el marco para poder definir la transición a la navegación astronómica científica como el instante en el que la ciencia estaba preparada para poder acometer el cálculo de la longitud en la mar, correspondiendo al momento en el que, a falta de tablas de distancias lunares, ya se habían completado todas las demás variables que intervienen en su cálculo (la utilización de la trigonometría plana y esférica, el triángulo de posición, los logaritmos y la aplicación de las correcciones a las alturas observadas para convertirlas en verdaderas), quedando completado con la invención de los instrumentos de reflexión que, como ha quedado patente, se inventaron para posibilitar la medida de las distancias lunares. Por lo que, a efectos de este trabajo, se establece, que la “Transición a la Navegación Astronómica Científica”, referido a la evolución de la ciencia, se inició en 1731, instante en el que, mediante la invención del octante, la ciencia, a falta de tablas de distancias lunares, estaba en disposición de acometer el cálculo de la longitud en la mar, en el momento que aquellas estuviesen disponibles. En cuanto a la formación de los pilotos la transición se dio en el instante en que todas las variables descritas se incluyeron en sus planes de estudio. El primer plan de estudios que cumplió todos estos requisitos fue la Escuela de Náutica de Bilbao, con el plan de 1742 diseñado por Miguel Archer, piloto particular, condición profesional, que constituye un dato inédito, que aportamos, para añadir a su biografía¹⁰.

La importancia de este trabajo radica en identificar en qué momento se produjo la “Transición a la Navegación Astronómica Científica” en los términos descritos y si coincidió con la denominada “Transición del Arte de Navegar a la Ciencia”.

A la vez se realiza una revisión a lo publicado sobre la figura y obra de Archer [FERNÁNDEZ DE NAVARRETE, 1846, p. 412–413]; [SELLÉS y LAFUENTE, 1984, p. 170]; [LLOMPART PALET, 1990, pp. 324–326]; [LLOMPART PALET y IGLESIAS MARTÍN, 1998, pp. 531–533]; [LLOMPART PALET y HORMIGÓN BLÁZQUEZ, 1998, pp. 439–452]; [DUO, 2000, p. 733]; [IGLESIAS, 2000, pp. 106, 110–113, 121, 123]; [SELLÉS, 2000, p. 94–95]; [IBÁÑEZ, 2002, p. 52]; [MANTEROLA, 2016, p. 272–281], en las que, de forma general, resaltan, mediante citas en cadena, que el texto escrito por Archer [1756] recibió la consideración de Juan, la modernidad del texto, la preocupación didáctica del autor manifestada a lo largo de toda la obra y que fue el primero que introdujo el octante en los textos náuticos en España. Los trabajos mencionados, obvian que Archer [1756] fue el primer autor de tratados náuticos que definió la Navegación como una Ciencia y la aplicó a los cálculos náuticos destinados a la resolución de la posición del buque, tanto por métodos astronómicos como de estima. Recurrió a la enseñanza de los fundamentos, superando la aplicación de reglas matemáticas que venían aplicando los anteriores tratadistas náuticos. Características que SELLÉS [2000, p. 93–95] fundamenta como el tránsito del “Arte a la Ciencia”, y reserva para el libro de Archer, sólo la consideración de un buen precedente de notables lecciones y el primer tratado de pilotaje plenamente moderno.

De acuerdo con el propósito de este trabajo, realizamos una aproximación a la biografía de Miguel Archer, en la que tratamos los aspectos más relevantes de su vida profesional y académica; continuamos, comparando, en lo que se refiere a la formación de los pilotos, el “viejo paradigma practicista” representado por la Casa de Contratación Sevilla/Cádiz, el Colegio de San Telmo de Sevilla, las Ordenanzas Generales de la Armada de 1748 (en adelante OGA, 1748) y el *Tratado de navegación teórica* [SÁNCHEZ RECIENTE, 1749], con el “nuevo paradigma deductivo” representando por el Museo Matemático de Bilbao, teniendo en cuenta sus planes de estudio, los profesores y los textos utilizados en la formación de los pilotos en el periodo 1742–1756.

2. MIGUEL ARCHER ROSSETER (1689–1752)

La mayoría de las aproximaciones biográficas hechas con antelación, están basadas en las aportaciones de LABAYRU y GOICOCHEA [1903], en este artículo las hemos complementado con los datos extraídos de CADENAS [1955]¹¹, LARREA SARGAMINAGA [1976] y [AGMAB, 3389/2].

Miguel Archer, hijo de Lorenzo Archer y Elena Rosseter, nació en la villa de Ross, en el Condado de Wesford (Irlanda). Contrajo matrimonio en Bilbao, el 30 de septiembre de 1715, con María Giraldino, también de origen irlandés. En 1730 solicitó la apertura de expediente de nobleza, para él y para su mujer, para lo cual presentó escrito en el que fundamentaba su petición en la persecución que sufrían los católicos en Irlanda y en las leyes españolas que protegían su asentamiento en el territorio español; completando la

documentación exigida, añadió el cuestionario cumplimentado por los testigos y un amplio y detallado informe redactado por el “Clero Católico de Irlanda” certificando que: Miguel Archer domiciliado en Bilbao pertenecía a la noble familia de los Archer, de la ilustre Casa de Acclaron, cerca de la villa de Ross, en el dicho Condado de Wesfordia. Previo informe favorable del Consultor del Señorío se emitió sentencia, con fecha de 18 de abril de 1731, en la que se ordenaba fuese admitido en la vecindad de Bilbao, que se le guarden las exenciones, prerrogativas que le son guardadas a los demás nobles hijosdalgo, y que se selle con el sello Mayor del Señorío. [CADENAS, 1955, p. 511–518]

Fue un profesional con un perfil multidisciplinar, hombre de mar, catedrático de náutica e hidrografía, hidrógrafo, capitán de fragata de la Real Armada [LABAYRU y GOICOECHEA, 1903, vol. I, p. 220, 268, 279], ingeniero y maestro de matemáticas en la Escuela de Náutica de la Villa [LARREA SAGARMINAGA, 1976, p. 142], a los que hay que añadir el de piloto particular [AGMAB, 3389/2]. En 1742 fue nombrado profesor de matemáticas y náutica del Museo Matemático, en donde ejerció su magisterio hasta su fallecimiento en 1752.

Su libro *Lecciones Náuticas*, se editó en 1756 con la aprobación de Joaquín de Aguirre y Oquendo (1730–1766) capitán de navío y de Jorge Juan (1713–1773) comandante de la Compañía de Reales Guardias Marinas, que lo elogió en los siguientes términos “[...] es de los mejores, que jamás fe ayan escrito en Eſpaña, por lo que toca a la practica de la navegacion [...]” [ARCHER, 1756, s/n].

3. EL VIEJO PARADIGMA PRACTICISTA EN LA FORMACIÓN DE LOS PILOTOS: EL COLEGIO DE SAN TELMO DE SEVILLA Y EL TEXTO DE SÁNCHEZ RECIENTE (1749)

El Museo Matemático de Bilbao coexistió con el Colegio de San Telmo de Sevilla, fundado en 1681, para recoger, criar, y educar niños huérfanos para enseñarles la marinería el pilotaje y la artillería [BARRAS DE ARAGÓN, 1935, p. 36], y una vez finalizada la preparación eran examinados por el director de la Academia de Guardiamarinas de Cádiz, en su calidad de piloto mayor de la Casa de Contratación [GARRALÓN, 2007, vol. II, p. 33], eso continuó así, hasta que la facultad examinadora pasó a depender del Piloto Mayor de la Armada [OGA, 1748, vol. I, p. 166].

Durante el tiempo que los exámenes dependieron de la Casa de Contratación de Cádiz, el programa de estudios fue el establecido por Real Cédula de 4 de diciembre de 1552, para la creación del cargo de catedrático de Navegación y Cosmografía, para el que fue nombrado el bachiller Gerónimo de Chaves (1523–1574)¹² con la instrucción de que la lectura de la Cátedra debía durar un año¹³, el lugar de impartición fuera la Casa de Contratación de Sevilla y en ella debía enseñar sobre los siguientes contenidos: la Esfera (o a lo menos los dos primeros libros). El Regimiento del Sol. El uso de la carta de marear, como echar el punto y como calcular la posición del buque. El uso y fábrica de la aguja de marear, astrolabio, cuadrante y ballestilla. Forma de marcar las agujas, determinación de lo que la aguja nordestea o noruestea. Uso general del reloj diurno y nocturno y Cálculo de las mareas [PULIDO RUBIO, 1950, pp. 72–73].

3.1. La formación en el Colegio de San Telmo de Sevilla (1742–1756)

A través del *Compendio de las más individuales noticias de el Real Colegio Seminario de San Telmo*, nos acercamos a la formación que se les impartía a los santelmistas, que estaba compuesta por las siguientes materias: aritmética inferior y superior, y a los adelantados se les instruía en álgebra, artillería, geometría, trigonometría plana y esférica, los globos terráqueo y celeste, así como la fabricación y uso del astrolabio, ballestilla, cuadrantes de observación y de reducción, carta de grados iguales y crecidos, la aguja de marear y escala plana y artificial [COMPENDIO, 1743, p. 6]. No hemos podido constatar documentalmente que se siguiese ese programa formativo, ni tampoco lo hemos podido acreditar por los textos que se editaron en el Colegio de San Telmo, en esas fechas, sobre navegación [CEDILLO, 1717] y [SÁNCHEZ RECIENTE, 1749].

Al pasar la facultad examinadora a la Armada, los exámenes a los pilotos particulares se realizaron de acuerdo con el programa formativo definido para los de la Armada, que consistía en enseñar la navegación y el uso de los instrumentos de forma práctica por el método más breve y, a los que estuviesen impuestos en la práctica, se les daban nociones sobre los principios teóricos de geometría y astronomía y la forma de levantar planos de puertos y cartas [OGA, 1748, vol. I, pp. 172–173]. Este plan de estudios, que no definía con claridad las materias que tenían que constituir la formación de los pilotos, era la guía que seguían en la Armada para examinar a los pilotos de la Armada y a los particulares. Con lo que el nivel de exigencia en la formación de los pilotos quedaba estancado en el viejo paradigma practicista.

3.2. Los textos utilizados en el Colegio de San Telmo 1742–1756

La guía que debía seguir la formación náutica de los santelmistas estaba fundamentada en el libro de Juan Sánchez Reciente (1684–1757)¹⁴, presbítero que en 1724, en sustitución de Pedro Manuel Cedillo¹⁵, fue nombrado catedrático de Matemáticas del Colegio de San Telmo de Sevilla, cargo que ostentó hasta su fallecimiento. Durante su magisterio en el Colegio escribió tres libros para uso de los santelmistas: *Tratado de Trigonometria nautica [...] [1742]*; *Tratado de navegacion y theorica, y practica [...] [1749]* y *Tratado de Arithmetica theorica y practica [...] [1751]*.

El estudio y análisis del texto *Tratado de navegacion y theorica, y practica [...] [1749]*, nos ha permitido visualizar cómo era la formación náutica que recibían los santelmistas para obtener el título de piloto una vez superado el examen en la Casa de Contratación hasta 1748, y a partir de esa fecha en las Escuelas Departamentales de Navegación de la Armada¹⁶.

3.2.1. *Tratado de navegacion teórica* [SÁNCHEZ RECIENTE, 1749]

La obra está estructurada en 26 capítulos, desarrollados de forma correlativa, en los que no plantea las clásicas divisiones entre Cosmografía y Navegación, pero sin especificarlo en el texto sigue la línea de CEDILLO [1717, 1745].

Los capítulos I al IX, tratan sobre los preceptos de la Cosmografía, en la que incluye los fundamentos de la Esfera según la teoría ptolemaica, el cuarteo de la rosa de los vientos, los círculos y términos de la navegación y la diferencia entre la carta plana y el globo.

Mientras, que del capítulo X al XXVI, se ocupa del uso y construcción de la aguja de marear, del astrolabio, de la ballestilla y de los cuadrantes para observar el Sol.

Sobre la guja de marear, señala que hay dos clases de agujas: las ordinarias y las de marcar. Se extiende en la importancia que tiene la aguja para la navegación, recomienda en dónde hay que instalarla y la sensibilidad que tiene frente a hierros y aceros.

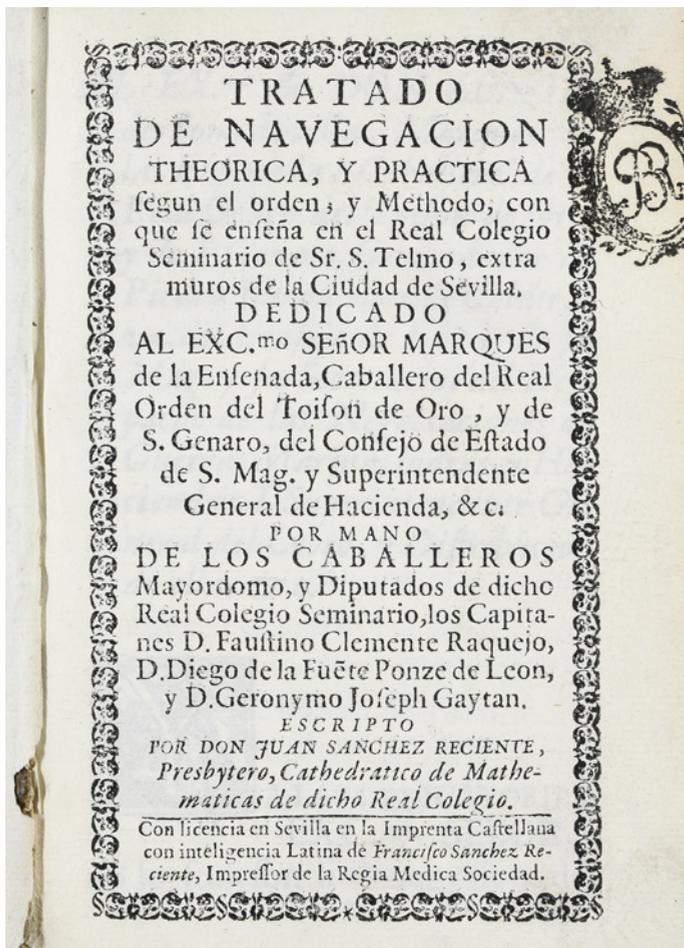


Figura 1. Portada del Tratado de Navegación.

Fuente: <http://bdh-rd.bne.es/viewer.vm?id=0000147887&page=1>

Referente a los instrumentos de tomar alturas, explica el uso y la construcción de los instrumentos clásicos: astrolabio, ballestilla y cuadrante. En la construcción del radio de la ballestilla propone dos métodos matemáticos de cálculo, uno por medio de la geometría y el otro por medio de la trigonometría. Sigue explicando los instrumentos clásicos de tomar alturas, cuando hacía ya 18 años que Hadley había construido el octante, instrumento basado en el principio de la doble reflexión. No incorpora las correcciones correspondientes a las alturas observadas para convertirlas en verdaderas, a excepción de la corrección por semidiámetro en el caso del Sol.

Además se ocupa de la construcción y uso del cuadrante de reducción y de la carta de marear, tanto la ordinaria o de grados iguales como la de grados crecidos.

Para explicar el fundamento de la corredera y su graduación, emplea los mismos argumentos que CEDILLO [1717] e incluso referencia a los mismos autores.

Explica el fundamento de la corredera, la medida horaria utilizada (ampolleta de 30'') y cómo se realiza el cálculo de los intervalos, para lo cual, al igual que otros autores de temas náuticos, divide el grado de círculo máximo en 60 millas. Pasada a pies, determina la parte de dicha milla en el intervalo de 30'', para su cálculo dice que huye de realizarlos por procedimientos tradicionales y cita lo expresado por el padre José Zaragoza que referencia los resultados obtenidos por "Snelio Olandés y el italiano Padre Ricciolo"¹⁷, decantándose al igual que CEDILLO [1717, pp. 96–99] por utilizar la media de las dos que le da un resultado de 56 pies castellanos. Con lo que, si la nave navega en 30'' una marca, en una hora caminará una milla, tantas marcas como salgan en el periodo de 30'' serán millas navegadas.

Al explicar el uso de los cuadrantes de la rosa de marear y cómo afecta a la latitud y a la longitud, según por el cuadrante que se navegue lo ilustra con ejemplos. Después se ocupa de la corrección de la aguja de marear por amplitudes del Sol, del uso de las tablas de declinación y amplitudes del Sol, en la que entra al detalle de las operaciones (regla de tres) a realizar, ya que están confeccionadas para el meridiano de Sevilla. Para el caso que se navegue por latitudes superiores $66^{\circ} 30'$ da cuatro recomendaciones a tener en cuenta.

En el cálculo de amplitudes, para su resolución, expone tres procedimientos con sus respectivos ejemplos: el ordinario que realizan los pilotos, partes proporcionales y el trigonométrico y da doce reglas de las amplitudes y cuatro reglas para corregir la variación de la aguja, con sus respectivos ejemplos. Y pasa a tratar las corrientes y abatimientos, como construir un instrumento para determinar el ángulo de abatimiento y de la corrección del rumbo por su efecto, para lo cual da cuatro reglas y tres más para la corrección de la aguja por el efecto conjunto del abatimiento y la variación.

Se ocupa de los usos de los instrumentos de tomar alturas y del cálculo de la latitud a la hora de la meridiana, mediante la observación del Sol con el astrolabio, haciendo extensible lo explicado a la ballestilla y a los cuadrantes; antes de proceder a la explicación, aclara que cuando dice observación se refiere a la distancia zenital. Para el cálculo de la latitud observada a la hora de la meridiana, da lo que denomina Regla General del Sol¹⁸:

La observación siempre es de la misma denominación que la sombra.

Si la declinación y la sombra son:

- De la misma especie: $lo = d + \zeta$ y de la misma especie que ambos¹⁹.
- De distinta especie: $lo = d - \zeta$ y de la misma especie que la mayor.
- De distinta especie y $d = \zeta$; $lo = 0^\circ$:
 - En el caso que el Sol esté en el Zenit: $lo = d$ y de la misma especie que la declinación.
 - En el caso que el Sol esté en la Equinoccial: $lo = \zeta$ y de la misma especie de la Sombra

Una vez explicado el procedimiento, acompaña seis ejemplos ilustrativos.

Para calcular la latitud observada continúa con la Regla General para las Estrellas:

- Si la declinación y la distancia Zenital:
- De la misma especie: $lo = d + \zeta$ y de la misma especie que ambos.
- De distinta especie: $lo = d - \zeta$ y de la misma especie que la mayor.
- De distinta especie y $d = \zeta$; $lo = 0^\circ$:

En el caso que la estrella no tenga declinación: $lo = \zeta$ de la misma especie que la distancia Zenital.

También contempla el paso del astro por el meridiano inferior, en cuyo caso da la siguiente regla general: $lo = a + (90^\circ - d)$ y de la misma especie que la declinación. Conocido el procedimiento para calcular la latitud observada por observación de estrellas, facilita una tabla con la declinación de algunas de ellas y, para el caso de la Polar, enseña a fabricar la tabla de la declinación (d) de la Polar, desde el año 1750 hasta 1800, partiendo de la *Astronomía Reformada* del Padre Ricciolo²⁰ lib. 4. cap. 21, en la que la declinación de la Polar para el año 1700 era de $87^\circ 42' 51''$, y como la variación cada 5 años es de $1' 42''$ +, el valor de la declinación de la Polar en 1750 era de $87^\circ 59' 51''$ N. A partir de estos datos explica la fabricación de la tabla de la declinación de la Polar, y pasa a explicar el cálculo de la latitud observada por las estrellas con dos métodos para calcular la latitud por la altura (a) de la Polar.

El primero consiste en la observación de la mayor altura y la menor altura que tiene la Polar cuando está en el meridiano, pudiendo hacerse en una noche y si se hace en dos noches sucesivas, se observará la mayor altura en el meridiano y en la siguiente noche la menor en el mismo meridiano, la semisuma de esas dos alturas será la latitud observada.

Para poder calcularla por el segundo método, es necesario conocer si la Polar está situada encima o debajo del polo. En el caso que la Polar esté encima del polo: $lo = a + (90^\circ - d)$. Si la Polar está debajo del polo: $lo = (90^\circ - d) - a$.

Acompaña la explicación con seis ejemplos. Para saber la hora de noche y para arrumbar la guarda delantera con la Polar, explica el uso y construcción del reloj nocturno.

También resuelve los problemas de navegación de estima utilizando el cuadrante de reducción, para lo cual se vale de 15 ejemplos. Enseña a medir la distancia de un punto a otro, situar un punto en la carta (latitud y longitud), para lo que se vale de 9 ejemplos para resolver problemas de navegación costera.

Termina el texto con la descripción del diario de navegación y de la formación del calendario.

4. EL NUEVO PARADIGMA DEDUCTIVO EN LA FORMACIÓN DE LOS PILOTOS: EL MUSEO MATEMÁTICO DE BILBAO Y EL TEXTO DE ARCHER DE 1756

En el País Vasco, la formación de los pilotos tiene una amplia tradición, iniciada en 1511 en Bilbao en donde sus dos primeros maestros fueron Augurtu y Laraudo [DUO, 2000, p. 732]. La enseñanza se vio interrumpida por la guerra, siendo restaurada debido a la carta enviada por el Ayuntamiento de Bilbao al rey Felipe II, en la cual solicitaban enviase un profesor de matemáticas para la enseñanza de Náutica, el Rey accedió a la petición mediante cédula enviada al Cosmógrafo Cristóbal de Barros, fechada a 26 de abril de 1581 por la cual le ordena envíe al mencionado profesor, por cuatro o seis meses, para que enseñase la facultad en el seminario que había en la villa de Bilbao [LABAYRU y GOICOECHEA, 1900, vol. IV, p. 818]. El profesor designado fue Andrés de Poza (1547–1595) [DUO, 2000, p. 732], autor en 1585 de *Hydrografía la mas curiosa que hasta aqui ha salido a la luz*.

4.1. El Museo Matemático de Bilbao (1742)

En las Ordenanzas de la Casa de Contratación de Bilbao de 1737, el capítulo 24 trata de las obligaciones de los capitanes, maestros, o patrones, pilotos, contramaestres y marineros, dedicando al piloto los artículos LXXI al LXXVII, en los cuales especifica sus obligaciones y los requisitos de obtención del título de piloto, entre los que destaca: haber estudiado al menos durante seis meses el Arte de Navegar teóricamente con persona capacitada debiendo presentar certificación que lo acredite, así mismo deberá acreditar haberlo practicado llevando punto y rumbo como mínimo durante dos años, esta acreditación será expedida por capitanes o pilotos con los que haya realizado las navegaciones; cumplidos estos requisitos y presentados al prior y cónsules, quienes determinaban el tribunal que tenía que examinarlos; una vez aprobados se les expedía el título de piloto. Pero no fue hasta 1739 cuando se inició el establecimiento de una escuela de matemáticas, nombrando profesor en 1740 al capitán de fragata José Ibáñez de Rentería (1699–1760) y en 1742 fue nombrado profesor de matemáticas y náutica el piloto particular Miguel Archer, asignándole un salario de trescientos ducados anuales [LABAYRU y GOICOECHEA, 1903, vol. VI, p. 243].

El curso en el Museo Matemático de Bilbao se inició el 10 de agosto de 1742 de acuerdo con el anuncio de la Figura 2.

DON MIGUEL ARCHER MENOR,
MAESTRO HYDROGRAPHO,
DEL MUY NOBLE, Y MUY LEAL SEÑORIO DE VIZCAYA;
N. VILLA DE BILBAO,
Y SU CASA DE CONTRATACION.

L dia 20. de Agosto de este presente Año de mil setecientos y quarenta y dos, empezará à dár Leccion en su MUSEO, en esta Noble Villa de Bilbao. Y para la perfeccion de la Nautica, enseñará lo siguiente.

En la **TRIGONOMETRIA PLANA** Rect-angula, y Obliq-angula, se enseñará los Problemas, y Theoremas de los Elementos de Euclides; necesarios para la pefeccion de esta Ciencia, con un methodo breve, y facil, para la solucion de sus casos.

En la **ASTRONOMIA**, y **GEOGRAPHIA**, se enseñará la **ANALEMMA**, la **GEOMETRIA ESPHERICA**, las Proyecciones **STEREOGRAFICAS**, la **TRIGONOMETRIA ESPHERICA** Rect-angula, y Obliq-angula, la Construcción de los Mapas, y los Elementos de la **CHRONOLOGIA**.

En la **NAUTICA**, se enseñará la Navegacion plana, Paralela, Media-paralela, Mercatoria, y la del gran Circulo; con un Methodo nuevo para tener el Diario en la Mar, segun qualquiera de las Navegaciones suso dichas.

Tambien se enseñará la **GEOMETRIA PRACTICA**, **PLANOMETRIA**, y **STEREOMETRIA**.

LOS INSTRUMENTOS QUE SE HAN DE USAR, Y EXPLICAR
son los siguientes.

La Escala plana, la Logaritmica single, y doble, el Sector, la Medalla Nautica, el Quadrante de Reduccion, el Quadrante Ingles, el Oxante, la Ballestilla, el Nocturno, el Compás Azimuth, el Alfilabio, el Theodolite, la Tabla plana, el Semi-Circulo, y diferentes generos de Quadrantes, para tomar Alturas, y Angulos en Tierra.

Tambien se enseñará el modo de resolver todos los casos que ocurren en el Mar, por mera inspeccion en Tablas.

Todo lo qual dicho Don Miguel Archer, está obligado à enseñar *gratis* à todos los Hijos, y Naturales de este M. N. y M. L. Señorío, à quienes suplica acudan à su MUSEO; y promete dedicarse à su Enseñanza con todo empeño; no dudando, que con esto, y su aplicacion, logrará el desempeño à su Obligacion, en que le ha puesto la Liberalidad, y Honra recibida de dicho Illustre Señorío, Noble Villa de Bilbao, y su Universidad, y Casa de Contratacion.

Previene se, que ninguno será recibido à la Enseñanza, sin Papel, ò Cedula de una de las tres Comunidades

Darà Leccion por la mañana, de las nueve, hasta las onze, y por la tarde de las tres, hasta las cinco horas.

Figura 2. Cartel anunciador de las lecciones en el Museo Matemático de Bilbao.

Fuente: AGS, SM, Leg. 0212.

A pesar del parecer de ARROYO [1989, p.78] sobre los estudios impartidos en la Escuela Náutica de Bilbao: “Es evidente que por un anuncio no puede enjuiciarse un plan de estudios con rigor”, partimos del anuncio, al igual que lo hacemos de los programas formativos o de los ejercicios literarios para intentar determinar el alcance de los conocimientos impartidos en

determinados estudios, en este caso, el correspondiente a la formación de los pilotos del Museo Matemático de Bilbao.

A partir del anuncio, se desprende que se trató de estructurar un programa formativo fundamentado en cimentar los conocimientos matemáticos a través de la inclusión, en el programa, de los Elementos de Euclides, obra compuesta por 13 libros con los siguientes contenidos: los libros I a IV con 467 teoremas sobre geometría plana; del V a VI teoría de la proporción; del VII a X teoría de los números y del XI a XIII geometría del espacio, que junto con la trigonometría plana y la esférica constituían materias propedéuticas de la navegación de estima y astronómica, las cuales posibilitaban comprender los conceptos matemáticos y ser capaces de deducirlos.

En astronomía y geografía incluían los conceptos y nociones iniciales que hay que saber antes de iniciarse en la navegación, así como en la trigonometría esférica rectángula y oblicuángula, lo cual permitía adentrarse en el estudio de la astronomía de posición. Lo completaba con la ampliación de la geometría del espacio, visto ya en los Elementos de Euclides, la enseñanza de las proyecciones estereográficas, la construcción de cartas, simbolización y clasificación.

Programa la derrota loxodrómica, la navegación por estima, resolviendo el cálculo de las variables: diferencia en latitud, diferencia en longitud, apartamiento y distancia por trigonometría plana. Incluye en el programa la cumplimentación del diario de navegación.

Junto con los instrumentos de tomar alturas tradicionales estudia el octante, que en el momento de inicio de las clases en el Museo era de reciente invención. Y la forma de resolver los problemas por tablas.

Al analizar este programa de estudios, se hace difícil no relacionarlo con el ideado en 1636 por el Consejo de Indias²¹, que entre las materias de estudios incluía los Elementos de Euclides y la trigonometría esférica, lo que mereció la siguiente consideración de GUILLEN TATO [1935, p. 37] “Yo vuelvo a maravillarme de toda la seriedad de este plan, quizá no superado relativamente en las actuales Escuelas de náutica [...]”. Por lo que nos preguntamos si Archer pudo inspirarse en ese programa y adaptarlo a su tiempo.

4.2. Lecciones Náuticas: ARCHER [1756]

El texto supone la primera parte de lo que tenía que constituir una trilogía: “La Via de la Nave”, en la que pretende instruir sobre los cuatro términos de la navegación; la segunda parte “del movimiento de la Nave” dedicada a la maniobra de los aparejos y la tercera de “su Polemica” dedicada a defender y atacar en línea de guerra.

La obra está estructurada en 20 lecciones, en las que al final añade una colección de tablas: diferencia en latitud y apartamiento, de partes meridionales y de declinaciones del Sol. Al final de la obra, y en páginas sin numerar, adjunta cuatro láminas ilustrativas firmadas por Ignacio Albiz²² discípulo de Miguel Archer, referidas a: problemas de geometría, las lecciones

2ª, 3ª, 4ª, 6ª, 7ª, 9ª, 10ª, 12ª, 13ª, 14ª, 17ª y 18ª, hoja del diario de navegación del navío nombrado *El Afortunado*, correspondiente al 24 de mayo de 1752 en viaje de Bilbao a Cádiz.

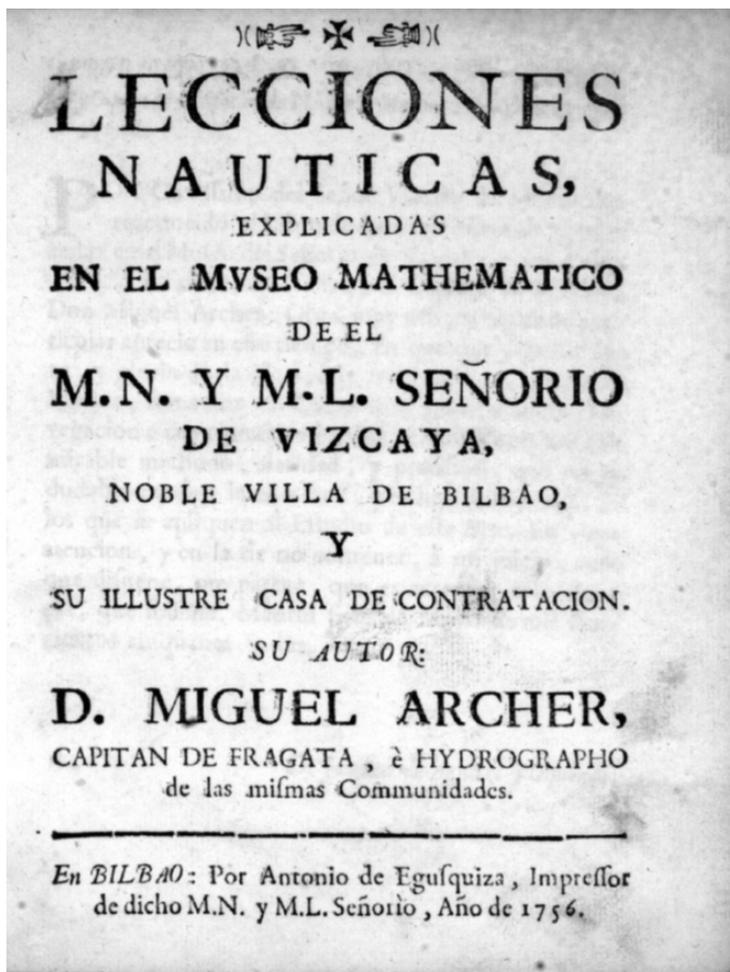


Figura 3. Portada del Tratado de Navegación.

Fuente: <http://www.liburuklik.euskadi.eus/handle/10771/9261>

Antes de empezar la primera lección, dedicada a la geometría, da la definición de Náutica considerándola una "Ciencia". Fue el primer tratadista de textos náuticos que, en la definición de Náutica, dejó atrás el término de "Arte" y utilizó el de "Ciencia".

Las dos primeras lecciones las dedica a explicar los conceptos básicos de geometría y trigonometría, en los que conjuntamente con las definiciones, propone numerosos ejemplos

apoyados por figuras. Entre los ejemplos de geometría que propone está el punto “6. Dividir las partes pequeñas en menores”, en el que después de explicarlo por el método como lo hacían los tratadistas de náutica, pasa a explicarlo por el método propuesto por “Don Jorge Juan en el Capítulo 3. Del Lib. 2 de sus observaciones Astronómicas, y Phycicas” [ARCHER, 1756, p.12–13]. Asegura que a pesar de ser un método conocido desde antiguo, se ha conocido por los náuticos casi al mismo tiempo en que Jorge Juan ha demostrado el error del otro método [ARCHER, 1756, p. 13]. En cuanto a los ejemplos resueltos de trigonometría plana, enseña a resolverlos por logaritmos, geometría y el cuadrante de reducción.

En la lección tercera, dedicada a la geografía, da su definición, enumera y define las coordenadas terrestres y celestes. Conocidos los conceptos de latitud y longitud, propone y resuelve los siguientes problemas:

1. Dadas las latitudes de dos lugares, hallar su diferencia en latitud.
2. Dada la latitud de salida y la diferencia de latitud, calcular la latitud de llegada.
3. Dadas las longitudes de dos lugares, calcular la diferencia en longitud²³.
4. Dada la longitud de salida y la diferencia en longitud, calcular la longitud de llegada.

Termina la tercera lección con la reducción de grados y minutos de diferencia en latitud y longitud a millas náuticas y al contrario, para lo cual tiene en cuenta el resultado de los cálculos matemáticos en los que participó Jorge Juan en los que se demostraba que los “grados de los meridianos son desiguales”.

La parte náutica la inicia en la cuarta lección, con el cuarteo de la rosa náutica continúa en la quinta con la corredera, en las que explica su descripción y su uso, en donde adopta, referenciando a Jorge Juan, el valor de la medida de la división del cordel en 50 pies y 10 pulgadas.

En lección sexta trata sobre la navegación plana, a través del triángulo elemental de estima expone, por procedimientos analíticos, el cálculo de las coordenadas geográficas de un punto y la distancia y rumbo navegado. Explica la construcción del triángulo elemental de estima y, conocidos rumbo y distancia navegada, calcula por métodos trigonométricos la diferencia en latitud y el apartamiento, plantea y resuelve los problemas por este método y por la escala artificial. También explica y resuelve, por métodos trigonométricos, el cálculo del rumbo y la distancia navegada, conocida la diferencia en latitud entre dos puntos y presenta la construcción de una tabla para consignar, de forma ordenada, la diferencia en latitud y apartamiento cuando se navega a diferentes rumbos y distancias.

En la lección séptima se ocupa de la corrección del apartamiento, teniendo una latitud observada que no coincida con la estimada; partiendo de la diferencia en latitud correcta, plantea la corrección del apartamiento por analogías entre el seno y el coseno del rumbo y por la escala artificial. Además de poner numerosos ejemplos resueltos, aconseja que el alumno practique sobre la resolución de los cuatro casos siguientes: dado el rumbo y la diferencia de latitud, hallar el apartamiento; dado el rumbo y la distancia, hallar la diferencia en latitud y el apartamiento; dada la diferencia en latitud y la distancia, hallar el rumbo y el apartamiento

y dada la diferencia en latitud y el apartamiento hallar el rumbo y la distancia. En cada uno de los casos aporta la fórmula para solucionarlo.

En la lección octava trata sobre la descripción de la carta plana y, mediante ejemplos resueltos, la forma de situar un punto de coordenadas conocidas; el trazado y medida de rumbos; medir distancias, situarse por demoras a dos puntos diferentes de la costa y el cálculo del rumbo de la corriente y su intensidad.

En la lección novena se ocupa de cómo convertir el apartamiento en diferencia en longitud ,para lo cual facilita la fórmula trigonométrica y múltiples ejemplos resueltos.

En la lección décima trata del cálculo de la diferencia en longitud por partes meridionales valiéndose de las tablas construidas por Jorge Juan. Antes de adentrarse en la resolución de problemas, explica el manejo de las tablas de partes meridionales sobre el elipsoide de Jorge Juan incluido en el tratado de sus Observaciones Astronómicas y Físicas.

En la lección undécima trata de la carta esférica y de su construcción mediante la diferencia en latitud y la diferencia en longitud, mientras que la plana se hace con la diferencia en latitud y el apartamiento. También se ocupa de cómo se pasa de una carta esférica a una plana y viceversa y, mediante ejemplos resueltos, la forma de situar un punto de coordenadas conocidas; el trazado y medida de rumbos; medir distancias, situarse y el cálculo del rumbo. Resuelve los problemas utilizando la geometría, trigonometría, cuadrante de reducción, escalas por las líneas de números y la pantometra.

En la lección duodécima trata sobre la teoría de astronomía necesaria para la navegación, en la que la que define: la equinoccial, paralelos de declinación, zenit, horizonte racional, horizonte visible, meridianos, meridiano vertical, meridiano de la hora sexta, círculos verticales o azimutales, vertical primario, declinación de un astro, altura de un astro, distancia del zenit, altura del polo, altura de la equinoccial, distancia del zenit a la equinoccil, amplitud de un astro, esfera paralela, esfera recta, esfera oblicua y lo que denomina teoremas, en donde relaciona los conceptos astronómicos explicados.

En la lección decimotercera se ocupa de los problemas de astronomía necesarios en la navegación, en el que trata el procedimiento para calcular la latitud por altura meridiana en su paso por los meridianos superior e inferior, por altura máxima y mínima del astro, la amplitud de un astro conocida su latitud y su amplitud, el cálculo del azimut conocidos la latitud del observador y la altura del astro, de acuerdo con los siguientes procedimientos.

Problema I. Cálculo de la latitud del observador al paso del astro por el meridiano superior.

1. Si $d = 0^\circ$; $lo = \zeta$ y del mismo nombre que la distancia zenital, es decir, sí el zenit se halla hacia el Norte del astro, la latitud será Norte y sí hacia el Sur la latitud será Sur.
2. Si la altura del astro es 90° , $l = d$ y del mismo nombre.
3. Si la declinación y la distancia zenital son de un mismo nombre la latitud será $lo = d + \zeta$ y de la común denominación, en caso que sean de nombres diferente la latitud será $lo = d - \zeta$ y del mismo nombre que la mayor.

Problema III. Dada la altura (aparente) máxima y mínima de un astro, calcular la latitud del observador.

Conocida la máxima altura aparente del astro (a.mx.) y la mínima (a.mi.), procede a calcular la latitud como el resultado de la semisuma de las alturas sumada a la mínima altura, de la siguiente forma:

$$lo = \frac{a.mx - a.mi}{2} + a.mi$$

A través de la Figura 4, realiza la demostración, para lo cual sitúa el astro en (0), cuya mínima altura cuando se encuentra en el meridiano inferior es (0O) y (KO) su máxima altura al paso por el meridiano superior, al pasar de (0) a (K) describe un paralelo de declinación (KP) = (P0), haciendo (KO-0O) = K0, siendo $K0/2 = P0$ donde $P0+0O = PO$ (latitud).

Problema IV. Cálculo de la amplitud conocidos la latitud del observador y la declinación de un astro.

En este caso explica la demostración a través del siguiente ejemplo: en latitud 50° N, se pide qué amplitud tiene un astro cuya declinación es 20° , resolución que propone por geometría apoyándose en la Figura 5.

En la esfera celeste, con la cuerda de 60° representa el meridiano del lugar (HZ0N), el horizonte (HO), el Zenit (Z) y el Nadir (N). En la línea de cuerdas toma 50° desde (0) a (P) y por el centro (C) dibuja la línea (PS), donde (P) representa el Polo Norte y (S) el Polo Sur, (PS) considerado como círculo será el meridiano de la hora sexta. La equinoccial la representa midiendo 50° desde (Z) a (E) y los 20° de declinación los pone de (E) a (m) y de (Q) a (n). Con la línea de tangentes, que está debajo del de cuerdas en la escala plana, toma 70° que es el complemento de la declinación y, con los intervalos de los puntos (m) y (n), describe dos arcos que se cortan en (X) desde cuyo centro describe el arco (mn) que corta al horizonte en (0) y la (C0) medida con los Semitangentes que se hallan bajo de las tangentes en la escala plana, da el valor de la amplitud.

Por los puntos (P, 0, S), al describirse un arco, tiene un triángulo esférico rectángulo en (L), donde el ángulo (LCO) cuya medida es (QO) es el complemento de la latitud y (L0) = es la declinación y (C0), para lo cual la analogía será: como seno complemento de la latitud (LC0) 40° . es al seno de la declinación (L0) 20° : así el radio seno de 90° , (L), al seno de la amplitud (C0) $32,08^\circ$. También lo resuelve por el cuadrante de reducción.

Problema V. Cálculo del azimut, conocida la latitud del observador, la declinación y altura de un astro.

Enseña a resolver este caso por la escala logarítmica mediante las dos analogías siguientes: Como el radio seno de 90° , es al seno complemento de la latitud, así el seno complemento de la altura, aun cuarto seno: como este cuarto seno, es el seno del residuo, a un quinto seno, bajo del cual en los senos versos se hallará el azimut contado del Norte o Sur según sea la

En la lección decimoctava se ocupa de la deriva del navío por el efecto del viento y la forma de corregirla y conocer el rumbo al que se ha gobernado y el que ha marcado la aguja.

En la lección decimonovena trata del diario de navegación, las variables que se deben incluir y forma de cumplimentarlo.

En la lección vigésima explica el cálculo de las mareas. Antes de adentrarse en el cálculo de la pleamar y bajamar introduce en el cálculo del número áureo y de la epacta.

Al final del libro adjunta tablas de diferencia de latitud, y apartamiento de las partes meridionales sobre el elipsoide y de declinaciones del Sol.

4.3. *Las Lecciones Náuticas de Archer: un libro de texto atípico en 1756*

El libro de Archer, aunque se publicó en 1756, recibió la licencia para ser editado el 18 de mayo de 1752 y, según Duo [2000,p. 733], ya estaba terminado desde 1746 y a disposición de sus alumnos, en formato de apuntes como apoyo al seguimiento de las clases que impartía en el Museo Matemático de Bilbao desde 1742.

Es un texto escrito para la formación de los pilotos, que no sigue la línea pedagógica marcada en los libros de navegación por CEDILLO [1717, 1745] seguida por SÁNCHEZ RECIENTE [1749] y BARREDA [1765], autores que estructuraron sus tratados de acuerdo con la definición dada de “Náutica” como un “arte”, que se divide en teórica y práctica. La parte teórica comprende la que enseña los preceptos astronómicos e hidrográficos y la construcción de los instrumentos náuticos, reservando la práctica para el uso de dichos instrumentos y la aplicación de los conceptos teóricos a la navegación. Mientras que dejaban el estudio de la matemática como una disciplina aparte, con sus propios textos, CEDILLO [1718], SÁNCHEZ RECIENTE [1742, 1751] y BARREDA [1770].

Como contrapartida, ARCHER [1756] concibe el texto para la formación de los pilotos, desde una óptica global, en la que integra todos los conocimientos necesarios para el piloto en un solo texto, en el que tiene en cuenta los progresos de la ciencia náutica aplicados a la navegación. En consecuencia, adapta en el texto el resultado de las observaciones astronómicas realizadas en Perú (1735–1746), en cuanto a la figura y magnitud de la Tierra, realizadas por Juan y Ulloa [JUAN y ULLOA, 1748, pp. 12, 45, 8, 132], a la vez que introduce en la formación de los pilotos la utilización del octante para la observación de los astros en la mar y abandona la utilización de los tradicionales instrumentos de tomar alturas.

En el texto, empieza definiendo “Náutica” como una “ciencia” que se vale del conocimiento de varias partes de la matemática; a partir de ahí, continúa con los conceptos básicos de geometría, trigonometría y geografía, disciplinas que por estar conectadas con la navegación, facilitan al alumno la introducción en el estudio de la misma, pasando a explicar las cuestiones generales propias de la navegación desde una perspectiva inédita en los textos españoles, fuera del modelo didáctico seguido por el Colegio de San Telmo de Sevilla.

A través de las tablas de latitud y apartamiento, Archer nos da una pista de cual pudo ser su modelo didáctico a seguir, cuando hace la siguiente referencia sobre los ejemplos “Los exemplos, que he citado para estas tablas, podrá el curioso remitirfe á los manuales Ingleses” [ARCHER, 1756, p. 165]; guiándonos por esa referencia, hemos acudido a la bibliografía anglosajona, entre la que seleccionamos tres textos de navegación de autores ingleses coetáneos de Archer: WILSON [1715], PATOUN [1739] y ATKINSON [1747, 1st ed. 1686], una vez analizados los textos ingleses, pudimos comprobar que estos libros guardaban la misma estructura didáctica que la presentada por ARCHER [1756], con la salvedad que no incluían ni los instrumentos de tomar alturas, ni aplicaban las correcciones a las alturas observadas, mientras que ATKINSON [1747, 1st ed. 1686] marca la diferencia con los demás por la amplitud con la que trató los fundamentos de la trigonometría esférica y su aplicación a la navegación. A la coincidencia en la estructura de los textos hay que añadir la profusión de ejemplos que proponían para cada caso y la escasez de contenidos cosmográficos.

Con esta obra, Archer demuestra ser un profesor que: está alerta de los adelantos científicos del momento, los pone en práctica en la navegación, explora otros modelos educativos —en este caso el anglosajón— y conjuga el pensar y el hacer, con lo que se asegura que el alumno comprenda los conceptos.

5. COMPARACIÓN DE TEXTOS

Uno de los elementos más importantes en la formación lo constituyen los textos. Su utilización como objeto de análisis nos puede permitir, en este caso, la reconstrucción de los conocimientos que se impartieron en la enseñanza náutica y si esta fue conforme con los adelantos que experimentó la ciencia y la técnica en la época objeto de estudio. De acuerdo con Ibáñez [2001, p. 135–142], en lo referente a la comparación de contenidos concretos de los textos, se analizan aquellos que atañen a la formación, por su contenido científico y por su función docente y que, en este caso, influyeron en la “transición”, como son los instrumentos de reflexión, las correcciones a aplicar a las alturas observadas para convertirlas en verdaderas²⁴, los contenidos matemáticos en los textos, la trigonometría y las técnicas de posicionamiento astronómico.

Instrumentos de reflexión: A pesar de que el octante de Hadley se inventó en 1731, no lo encontramos presente en el texto de Sánchez Reciente [1749] que sigue explicando los instrumentos de tomar alturas clásicas como el astrolabio, la ballestilla y el cuadrante de dos arcos introducido por Cedillo [1717]. Se tuvo que esperar a Archer [1756] que fue el primer tratadista que lo incluyó en un texto dedicado a la formación de los pilotos, y lo venía enseñando en sus clases en la Escuela de Náutica de Bilbao desde 1742²⁵.

Correcciones a aplicar a las alturas observadas para convertirlas en verdaderas: Aunque las correcciones ya se conocían desde el siglo II (a. C), estas no se empezaron a aplicar en la mar hasta el siglo XVIII. Sánchez Reciente [1749] sólo aplicaba la corrección por semidiámetro del Sol, mientras que Archer [1756] aplica la totalidad de las correcciones para convertir la altura observada en verdadera.

Contenidos matemáticos en los textos: El conocimiento del aparato matemático, al igual que el de la mecánica celeste, fue fundamental para el desarrollo de la ciencia de la navegación. En este sentido es fundamental saber cómo evolucionó la utilización de las matemáticas en los textos y su participación en la “transición”. En cuanto a la utilización de las matemáticas las hemos analizado desde tres ramas diferentes: aritmética, geometría y trigonometría plana y esférica.

Aritmética: Las operaciones básicas de aritmética (operaciones con números enteros; suma, resta, multiplicación, división y regla de tres), desde la publicación de Cedillo [1717]²⁶, estuvieron presentes en todos los tratados de navegación.

Geometría: Sánchez Reciente [1749]²⁷ utiliza la geometría en la construcción del radio de la ballestilla. Archer [1756] le dedica la primera lección titulada geometría, en la que realiza las siguientes definiciones: cuerpo o sólido, de las líneas, plano, ángulo plano, círculo, esfera, ángulo esférico: con sus aplicaciones y ejemplos²⁸.

Trigonometría: Sánchez Reciente [1749] aplica la trigonometría en el cálculo de la graduación del radio de la ballestilla por las tangentes naturales y para establecer las distancias navegadas a cualquier rumbo por los senos²⁹. Archer [1756] le dedica la lección segunda a la trigonometría plana rectángula en la que define: triángulo plano, triángulo rectángulo, tangente de un arco, el seno de un ángulo y en el canon trigonométrico da las reglas para poder solucionar los problemas de trigonometría, en el que incluye las operaciones con logaritmos, realiza los cálculos de la navegación por estima mediante fórmulas trigonométricas, el cálculo de la diferencia en longitud por latitudes medias, por trigonometría esférica mediante fórmulas preparadas para logaritmos calcula la amplitud (conocidos la latitud y la declinación) y el azimut (conocidos la altura y la declinación) de un astro³⁰.

Técnicas de posicionamiento astronómico: Sánchez Reciente [1749] explica el cálculo de la latitud observada a la hora del paso por el meridiano inferior y superior del Sol y de estrellas, y por la Polar, mediante reglas nemotécnicas, carentes de todo fundamento matemático. Mientras que Archer [1756] explica el cálculo de la latitud observada a la hora de paso por meridiano superior e inferior, así como el cálculo de la latitud por altura máxima y mínima del astro, mediante el uso de demostraciones soportadas gráficamente.

En la comparación de los dos textos, quedan reflejados dos modelos para la formación de los pilotos; uno representado por Sánchez Reciente [1749] anclado en el pasado y totalmente de espaldas a los acontecimientos científicos que se estaban desarrollando en el campo de la astronomía de posición. El otro, encabezado por Archer [1756] representando un nuevo concepto de enseñanza náutica, para la que se requieren conocimientos teóricos basados en fundamentos científicos y alejados del practicismo reinante en la formación de los pilotos.

6. AUTORES Y BANDA DE MODERNIDAD

Se ha tratado de delimitar la banda de modernidad, teniendo en cuenta la edición de los textos que se han utilizado en la formación de los pilotos en los centros estudiados, y el estado

de la ciencia y técnica aplicada a la navegación, tomando como referencias la definición de banda de modernidad correspondiente a su época, en la que “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, pp. 161–162] y la dada por IBÁÑEZ y LLOMPART [2001, pp. 145–146] en la aplicación que hacen según la disciplina que se estudie; en lo que se refiere a los autores de textos náuticos, incluye aquellos que entendían las nuevas técnicas de posicionamiento que se iban perfeccionando. Teniendo en cuenta lo expuesto, podemos considerar que Archer [1756] se encontraba dentro de la banda de modernidad. Permanece fuera de la banda de modernidad Sánchez Reciente [1749] por ser un texto continuista que no adopta los adelantos del momento permaneciendo estancado en el practicismo.

7. CONCLUSIONES

La formación de los pilotos hasta la primera mitad del siglo XVIII, estuvo anclada en el plan de 1552. Aunque las Ordenanzas Generales de la Armada de 1748 pusieron en marcha un plan de estudios nuevo, el modelo de piloto que proyectaban continuaba siendo el mismo, el de un piloto “practicón”.

Mientras el Museo Matemático de Bilbao, en 1742, puso en marcha un plan de estudios para la formación de pilotos, muy ambicioso, alejado del patrón que seguía el ideado por la Casa de Contratación, constituido por engorrosas explicaciones de cosmografía, el uso de reglas nemotécnicas, la memorización de los conceptos y la utilización de los viejos instrumentos de tomar alturas. En cambio, el Museo Matemático promovió un modelo de formación actualizada, en el que no sólo tuvo en cuenta los adelantos de la ciencia y de la técnica, si no que, mediante la utilización de métodos deductivos, en los que utilizaba la herramienta matemática, los instrumentos de reflexión para tomar alturas con sus correcciones correspondientes y los descubrimientos astronómicos más recientes, puso al piloto en disposición de poder aplicar los nuevos métodos de posicionamiento en la mar que tenían que llegar, como el cálculo de longitud por distancias lunares y por cronómetros.

El análisis de los textos náuticos nos sumergen en un periodo en el que se dan los principales cambios hacia la navegación astronómica científica. Se inicia con la navegación fundamentada en los libros de texto basados en un plan de estudios datado en 1552 que permaneció vigente hasta 1748, pero continuó exigiendo al piloto una preparación eminentemente práctica. Hecho que marcó la línea didáctica y el contenido de los libros de texto destinados a la formación de los pilotos. Esta etapa, representada por los textos de Cedillo [1717, 1745] y Sánchez Reciente [1749], anclados en los métodos clásicos de navegación en los que aún se explicaban el astrolabio, la ballestilla, el cuadrante y se utilizaban los métodos de posicionamiento basados en reglas nemotécnicas. Textos que no fueron sensibles a los adelantos que se estaban experimentando en la ciencia y en la técnica aplicada a la navegación. Mientras que el libro de Archer [1756] rompe con la línea didáctica y de contenidos tradicionales, en el que destierra las reglas nemotécnicas que se utilizaban en los

textos clásicos, pasa a definir la Náutica de “Arte” a “Ciencia” y, de acuerdo, con la definición dada, resuelve los problemas de navegación utilizando el aparato matemático, a la vez que introduce en un texto empleado para la formación de pilotos el octante, instrumento que había sido inventado para medir distancias lunares.

Por lo que se refiere a la formación de los pilotos, el tránsito del “Arte de Navegar” a la “Ciencia” y el “Tránsito a la Navegación Astronómica Científica” se dieron en el mismo instante debido a las clases impartidas, en 1742, en el Museo Matemático de Bilbao, por Miguel Archer y sus *Lecciones Náuticas* [1756].

NOTAS

1. AGI, Indiferente, L.1, F.65V–67.
2. AGI, Patronato, 251, R.1.
3. Con respecto al mercantilismo, Corona Baratech y Armillas Vicente [1990] señalan que hay dos manifestaciones de diferente signo: “Ramón Carande niega rotundamente que pueda atribuirse una política económica coherente a los gobernantes españoles del siglo XVI. En cambio, Earl J. Hamilton estima que antes de 1700 ya se habían adoptado en España todas las medidas de política económica mercantilista, salvo (y la excepción es importante) las reales fábricas y las compañías privilegiadas” [p. 20]. Por su parte VICENS VIVES [1977, pp. 282–283] establece los orígenes del mercantilismo castellano con referencia a Hamilton, situando su origen en la época de los Reyes Católicos.
4. Véase: ORDENANZAS [1786, pp. 68–118].
5. Este artículo se ocupa del Tránsito a la Navegación Astronómica Científica. Desconocemos en qué momento fueron aplicados los conocimientos teóricos de los pilotos en cuestiones astronómicas, a bordo de los buques, en el curso de las navegaciones realizadas en las distintas rutas. Sería descabellado adentrarse en afirmaciones, en cualquiera de los sentidos, sin contar con la información directa extraída de los diarios de navegación de los buques, que constituyen los únicos documentos que pueden aportar luz en ese sentido. Por lo que, conocer ese dato, requeriría una investigación aparte, en la que tendríamos que tener en cuenta el periodo estudiado, las rutas por las que se navegaba, la titulación de los encargados de la derrota y la disposición a bordo de los medios idóneos para realizarlas (instrumento de reflexión para tomar la altura de los astros, cronómetro, almanaque náutico, tabla de distancias lunares).
6. El método de las distancias lunares permite obtener la hora del primer meridiano en cualquier instante. Para lo que se necesita disponer de tablas lunares que permitan conocer, para las horas de un determinado meridiano de referencia, las distancias angulares verdaderas entre el centro de la Luna y el centro del Sol y de las estrellas zodiacales principales. Además, es necesario realizar simultáneamente tres observaciones distintas (con un instrumento de reflexión): la distancia angular Luna – estrella/Sol, altura estrella y altura Luna (a las que hay que corregir por refracción y paralaje, para convertirlas en verdaderas). Estos datos nos permiten resolver el triángulo esférico formado en la posición del Zenit (Z) y por las posiciones aparentes de la Luna y la estrella, en el que se conocen los tres lados.

Do = distancia observada Luna –estrella/Sol

Ao^* = altura observada estrella

datos con los que obtenemos el valor del ángulo en el zenit mediante la fórmula

$$\cos Do = \sin Ao \cos Sen Ao^* + \cos Ao \cos Cos Ao^* \cos Z$$

Despejando $\cos Z$, tenemos

$$\cos Z = \frac{\cos Dv - \operatorname{Sen} Ao \operatorname{C} \operatorname{Sen} Ao *}{\operatorname{Cos} Ao \operatorname{C} \operatorname{Cos} Ao *}$$

Calculado el ángulo en el zenit (Z), se pasa a calcular la distancia verdadera Luna – estrella (Dv) en el triángulo esférico referido a las posiciones verdaderas, mediante la fórmula

$$\cos Dv = \operatorname{Sen} Av \operatorname{C} \operatorname{Sen} Av * + \operatorname{Cos} Av \operatorname{C} \operatorname{Cos} Av * \operatorname{Cos} Z$$

Conocida Dv, entrando en las tablas de distancias lunares se obtiene la hora del meridiano de referencia en el instante de la observación que, restada de la hora local (calculada en el momento de la observación), permite conocer la longitud del lugar.

Para una mayor amplitud y comprensión del cálculo de la longitud por el método de distancias lunares ver: GARCÍA FRANCO (1947, Vol. I, pp. 308–333). COTTER (1968, pp. 195–237). IBÁÑEZ (2000, pp. 93–119), SELLÉS (2000, pp. 177–214).

7. Por cronómetros, la determinación de la longitud queda reducida a calcular la diferencia entre la hora del buque y la de un meridiano conocido en el mismo instante, debido a que la diferencia de los meridianos se determina por la diferencia de las horas y las partes de la hora que uno considera al mismo tiempo debajo de cada uno; de modo que 15° de diferencia meridiana hacia el este, cuentan una hora más, y 15° grados hacia el oeste, una hora menos, la cuestión de las longitudes se puede reducir a esta, sabiendo la hora en que se encuentra el buque y la misma hora en un meridiano de referencia. El cálculo de la longitud por este método, MAZARREDO [1790, p.153] lo concentra en conocer el movimiento del reloj, lo que adelanta o lo que atrasa sobre el tiempo medio en cada día y saber el estado del reloj un día dado, que son los elementos por los que se sabe la hora que es en el meridiano de salida, y averiguar la hora en el buque. Para una mayor amplitud y comprensión del cálculo de la longitud por el método de distancias lunares ver: GARCÍA FRANCO [1947, Vol. I, pp. 354–390]. COTTER [1968, pp. 254–267]. IBÁÑEZ [2000, pp. 120–125], SELLÉS [2000, pp. 141–176]. Sobre la resolución del mayor problema científico de su tiempo ver SOBEL [1998].
8. SELLÉS y LAFUENTE [1984, p.171] sólo dan la definición de la parte correspondiente a la navegación teórica sacada de SÁNCHEZ RECIENTE [1749, p. 1].
9. Se conoce con el nombre de navegación de estima al conjunto de procedimientos que, con la ayuda de la aguja náutica y la corredera, permiten determinar la situación del buque en la mar. Los errores que arrastra la situación calculada por estima provienen de las distancias mal apreciadas por la corredera, las guiñadas del timonel, correcciones de la aguja mal calculadas, abatimientos causados por el viento y derivas de corrientes desconocidas.
10. AGMAB 3366 Cuerpo Pilotos. Generalidad.
11. CADENAS [1955, p. 519] Como apéndice a las notas referentes al expediente seguido por Miguel Archer Rosseter, anota: "creo interesante apuntar algunas ideas para un estudio de otro Miguel Archer, bilbaíno, hijo de Miguel Archer irlandés, que acabamos de conocer en su genealogía. En que entre otras características del personaje resalta que era hombre de mar, catedrático de matemáticas, capitán de fragata de la Real Armada y su obra Lecciones de Náutica". Con lo que deducimos que desdobra en dos personas diferentes a Miguel Archer Rosseter. En SEVEN DOCUMENTS, en 1729. Ref. JCR1399/032. Folio 59 PO. Registra a Miguel Archer Rosseter casado con Mary Geraldine Hore y en 1731, Michael Archer, Ross, Co.Wexford. Sello Mayor. Ref. BSA 0397–001–003, AG 262, consigna His marriage was on the 30th September, 1715 to Mary Fitzgerald.
12. Jerónimo de Chaves (Sevilla, 1523– Sevilla, 1574). El bachiller Jerónimo de Chaves fue nombrado Catedrático de Cosmografía de la Casa de Contratación de Sevilla, el 4 de diciembre de 1552, siendo el primero que ocupó esta Cátedra. Fue uno de los más prestigiosos cosmógrafos, fabricante de instrumentos de su tiempo, autor de dos padrones, uno lo vendió a la Casa de Contratación y el otro al Consejo de Indias. En 1566 fue convocado a la Corte para asistir a una reunión de cosmógrafos, a la que no fue citado su padre, Piloto Mayor y Cosmógrafo de la Casa de Contratación, debido a su delicado estado de salud. Por dejación de sus funciones se le apartó de la Casa de Contratación por Real Cédula de 12 de agosto de 1568. (PULIDO RUBIO, 1950, pp. 68–69).
13. Este año de formación se redujo a tres meses, a instancias de Gerónimo Chaves. En solicitud dirigida al Rey, Chaves argumentaba que los conocimientos que él enseña pueden ser aprendidos en tres meses y que los que tenían que asistir a la lectura eran gentes pobres, que no tenían medios suficientes para poder subsistir este tiempo. Esta petición fue concedida por Real Cédula de 3 de junio de 1555. La obligación de asistir un año a la

- lectura de la Cátedra fue una acción ineficaz. Se modificó de nuevo por Reales Cédulas de 6 de octubre de 1567, estableciendo el periodo de formación en dos meses, y por la de 25 de febrero de 1568 se mantuvo el periodo de dos meses para oír la lectura de la Cátedra, pero en el cómputo se incluyeron los festivos. PULIDO RUBIO (1950, pp. 80–81) y MEDINA (1908, Vol. I, pp. 305–306).
14. Juan Sánchez Reciente (Madrid, 1684–Sevilla, 1757). Presbítero que en 1724, en sustitución de Pedro Manuel Cedillo, fue nombrado Catedrático de Matemáticas del Colegio de San Telmo de Sevilla, cargo que ostentó hasta su fallecimiento.
 15. Pedro Manuel Cedillo (1676–1761), se inició en la enseñanza de las matemáticas en el Colegio de San Telmo de Sevilla en 1699 –recién licenciado del Colegio, una vez finalizado su tercer viaje a las Indias– donde permaneció hasta 1724, cuando fue nombrado profesor de la Academia de Guardias Marinas de Cádiz, para en 1728 ser confirmado como Piloto Mayor de la Carrera de Indias y Director de la Academia [AHUS, San Telmo, Libro 271, fol. 194–194v]. Cedillo dedicó toda su vida profesional a la enseñanza náutica, primero en el Colegio de San Telmo de Sevilla y después en la Academia de Guardias Marinas en donde escribió el *Tratado de la Cosmografía y Náutica* [1745]. Durante su magisterio en el Colegio de San Telmo, escribió dos obras destinadas a la formación de los santelmistas, *El Compendio de la Arte de navegar* [1717] y *La Trigonometría aplicada a la navegación* [...] [1718].
 16. Véase [ORDENANZAS GENERALES DE LA ARMADA, 1748, vol. I, p.171] sobre la creación de las Escuelas Departamentales de Navegación.
 17. Al holandés Willebrord Snell (a quien se atribuyó la autoría de la ley de refracción) y al padre Giovanni Battista Riccioli, un astrónomo de la Compañía de Jesús.
 18. A lo largo de los siglos XVI y XVII, a los que el hispanista norteamericano George Ticknor (1791–1871) denominó “Siglo de Oro”, en su Historia de la literatura española (LARA MARTÍNEZ, 2015, p. 187), la Corona española, se preocupó de crear cargos científicos y de mejorar la formación de los pilotos. Bajo el nombre genérico de Regimiento de Navegación se publicaron numerosos tratados o libros de navegación, que contenían los conocimientos de la época. Los españoles y los portugueses, en sus viajes al Oeste y por la costa Africana, fueron los primeros que utilizaron la navegación astronómica, para lo cual se valieron de astrolabio y tablas de declinación del Sol. Así mismo, los portugueses, crearon las llamadas Guía de Munich (sobre el 1509) y la Guía de Évora (sobre 1516), que incluían los “Regimientos”, conjunto de reglas que los pilotos tenían que utilizar: el “Regimiento del Sol” para calcular la latitud observada por altura meridiana, dependiendo de la observación sea cara al norte o cara al sur; y el “Regimiento de la Polar” para calcular la latitud por la altura de la Polar.
 19. l = latitud observada; a = altura del astro; d = declinación del astro; z = distancia cenital ($90^\circ - a$).
 20. *Astronomia Reformata* que el Padre Riccioli publicó en 1665.
 21. El plan de estudios seguido en ese momento era el de 1552, ya que el establecido por el Consejo de Indias, en 1636, no llegó a entrar en vigencia. Un plan importante, que intentaba dar al piloto una formación completa de carácter científico técnico, en el que se incluían los conocimientos que debían conocer los pilotos de la Carrera de Indias, impartidos en tres años, que constaba del estudio de la esfera, las teóricas de los planetas, la Geografía de Ptolomeo, uso y fundamento del astrolabio, cuadrante, ballestilla y la aguja, además de la Geometría de Euclides, RECOPIACIÓN [1841, Vol. I, p. 207].
 22. Ignacio Albiz, que firmaba en las láminas como discípulo del autor, con el tiempo llegó a ser profesor de la Escuela de Náutica de Bilbao, como afirman Ibáñez y Llombart [2000, p. 748]: “Finalmente, en 1755, fue nombrado para el puesto Ignacio de Albiz quien, además de haber sustituido a Archer en sus ausencias, había continuado regentando la cátedra de náutica tras la muerte de éste, durante ocho meses”.
 23. En los problemas del cálculo de la diferencia en longitud y de la longitud de llegada, propone la resolución por el método moderno y por el antiguo. “El primer Meridiano es arbitrario, por lo común los Españoles toman el de Tenerife, los Franceses el de la Isla de Fierro, y los Ingleses el de Londres, y unos cuentan la longitud segun el modo antiguo, y otros segun el modo moderno. El antiguo es de contar desde el primer meridiano 360. Grados azia el Efte, que es azia la derecha mirando al Norte. Según el moderno, fe cuenta desde el primer Meridiano 180. azia el Efte, y 180. azia el Uefte, que es azia la izquierda.. [ARCHER, 1756, p. 33]
 24. La altura es el arco de vertical que va desde el horizonte al astro. En la mar las alturas de los astros que se observan con los instrumentos de tomar alturas están referidas al horizonte visible. Para lo cual hay que tener en cuenta (al margen de las correcciones que se deben aplicar a la altura instrumental del astro: corrección de índice y

- corrección instrumental para transformarla en observada), las correcciones por depresión del horizonte, semidiámetro, refracción astronómica y paralaje para convertirlas en verdaderas.
25. Ver: ARROLLO [1989] en donde reproduce copia del anuncio de la apertura de las clases, en el anexo documental.
 26. Ver: CEDILLO [1717, pp. 49, 60, 64–65, 68, 70–71, 84, 116–118, 120, 123–125].
 27. Ver: SÁNCHEZ RECIENTE [1749, pp. 89 – 90].
 28. Ver: ARCHER [1756, pp. 1 – 15].
 29. Ver: SÁNCHEZ RECIENTE [1749, pp. 90 – 94, 116 – 118].
 30. Ver: ARCHER [1756, pp.54 –69, 74 – 81, 118 – 128].

FUENTES

- AGI, Archivo General de Indias, Indiferente, L.1, F.65 V–67. Real Provisión a Américo Vespucio, piloto mayor, concediéndole facultad de examinar a los pilotos que hayan de ir a Indias, dándoles carta que los acredite como tales pilotos; y a los oficiales de la Casa de la Contratación para que hagan reunir a todos los pilotos más expertos y bajo la dirección de Américo Vespucio se reúnan los pilotos y rehagan el padrón general, dándole el nombre de padrón real. 1508–08–06, Valladolid.
- AGI, Archivo General de Indias, Patronato, 251, R.1. Real Provisión de los Reyes Católicos ordenando establecer en Sevilla una Casa de la Contratación y promulgando las primeras Ordenanzas para su gobierno. Alcalá de Henares, 20 de enero de 1503.
- AGMAB, Archivo General de la Marina Álvaro de Bazán, 3366 Cuerpo Pilotos. Generalidad.
- AGMAB, Archivo General de la Marina Álvaro de Bazán, 3389/2, Cuerpo Pilotos. Asuntos Personales.
- AGS, Archivo General de Simancas, Secretaría de Marina, Leg, 0212.
- AHUS, Archivo Histórico Universitario de Sevilla, Libros 271 a 281. Recepción y salida de colegiales del Real Colegio Seminario de San Telmo. Años 1682–1832.

BIBLIOGRAFÍA

- 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 Eguzquiza 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.
- ATKINSON, J. (1747, 1^a ed. 1686) *Epitome of the art of navigation: or, a short, easy and methodical way to become a compleat navigator*. London, William Mount and Thomas Page, on Tower–Hill.
- BARRAS DE ARAGÓN, F. de las (1935) *Circunstancias que motivaron la fundación del Colegio de San Telmo de Sevilla*. Madrid, Asociación Nacional de Historiadores de la Ciencia Española.
- BEZOUT, E. (1781) *Cours de Mathématiques. A l'usage des Gardes du Pavillon et de la Marine. Contenant le Traité de navigation*. Paris, De L'Imprimerie De PH.– D. Pierres.
- BEZOUT, E. (1782). *Cours de Mathématiques. A l'usage des Gardes du Pavillon et de la Marine. Seconde Partie, Contenant les Éléments de Géométrié, la Trigonométrie rectiligne & la Trigonométrie sphérique*. Paris, De L'Imprimerie De PH.– D. Pierres.
- CADENAS Y VICENT, V. (1955) "Hidalguía". *La revista de genealogía, nobleza y armas*, 11, 434–576.
- CASADO RABANAL, D. (2009) *La marina ilustrada: sueño de la España del siglo XVIII*. Madrid, Antígona, S.L.
- CEDILLO, P. M. (1717) *Compendio de la Arte de Navegar*. Sevilla, Lucas Martín de Hermosilla.

- CEDILLO, P. M. (1718) *Trigonometria aplicada a la navegacion, afsi por el beneficio de las tablas de los senos, y tangentes logarithmicas; como por el ufo de las dos efcaldas plana, y artificial.* Sevilla, Lucas Martín Hermosilla.
- CEDILLO, 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 Guiraun.
- DUO, G. (2000) "La Enseñanza de Náutica en el País Vasco". *Revista de Estudios Marítimos del País Vasco*, 3, 729–745.
- CORONA BARATECH, C. E. y ÁRMITAS VICENTE, J. A. (1990) *Historia General de España y América: La España de las Reformas Hasta el final del Reinado de Carlos IV.* Madrid, Rialp. Tomo X–2.
- 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 a sus progresos entre los españoles.* Madrid, Imprenta de la viuda de Calero.
- GARCÍA DE CÉSPEDES, A. (1606) *Regimiento de navegacion que mando hacer el Rei nuestro Señor por orden de su consejo Real de las Indias a Andres Garcia de Cespedes su Cosmografo Mayor siendo Presidente en el dicho consejo el conde de Lemos.* Madrid, Casa de Juan de la Cuesta.
- GARCÍA FRANCO, S. (1947) *Historia del arte y ciencia de navegar. Desenvolvimiento histórico de los cuatro términos de la navegacion.* Madrid, Instituto histórico de Marina. 2 Volúmenes.
- GARCÍA GARRALÓN, M. (2009) "La formación de los pilotos de la Carrera de Indias en el siglo XVIII". En: C. Martínez Shaw y M. Alonso Mola (eds.) *España en el comercio marítimo internacional (siglos XVII–XIX)*. Madrid, UNED, 319–356.
- GONZÁLEZ GONZÁLEZ, F. J. (2013) "Jorge Juan y la Astronomía: El Real Observatorio de Cádiz". *Revista General de Marina*, 265, 349–362.
- GUILLÉN TATO, J. F. (1935) *La Náutica española en el siglo XVII.* Madrid, Gráfica Universal.
- HORMIGÓN, M. (1995) *Paradigmas y matemáticas: Un modelo teórico para la investigación en historia de las matemáticas.* [Cuadernos de historia de la ciencia, 8]. Zaragoza, Universidad de Zaragoza.
- IBÁÑEZ, I. (2002). "Tratados españoles de náutica". *Revista de Historia Naval*, 20, 35–57.
- IBÁÑEZ, I. y LLOMBART, J. (2000) "La formación de los pilotos en la Escuela de Náutica de Bilbao, siglos XVIII y XIX". *Izbas Memoria. Revista de Estudios Marítimos del País Vasco, Untzi, Museosa – Museo Naval*, 3, 747–772.
- IBÁÑEZ, I. y LLOMBART, J. (2001) "La comparación de textos en historia de la ciencia: Una propuesta metodológica". *Llull*, 24(49), 131–148.
- IBÁÑEZ FERNÁNDEZ, M. D. (2000) *La difusión de conocimientos náuticos en la España decimonónica: La navegacion astronómica en los textos de náutica españoles del siglo XIX.* Bilbao. Universidad del País Vasco. (Serie Tesis Doctorales).
- IGLESIAS MARTÍN, M.A. (2000) *Estudio comparativo desde el punto de vista matemático de textos náuticos españoles del siglo XVIII.* Leioa. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. (Serie Tesis Doctorales).
- JUAN Y SANTACILIA, J. (1757) *Compendio de Navegacion para el uso de los caballeros Guardias–Marinas.* Cádiz, En la Academia de los mismos Caballeros.
- JUAN Y SANTACILIA, J. 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 Correspondiente 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 Navegacion.* Madrid, Juan de Zuñiga.

- LABAYRU Y GOICOECHEA, E. J. (1903) *Historia general del Señorío de Bizcaya, Volumen VI*. Bilbao, Imprenta de Andrés.
- LARA MARTÍNEZ, M. (2015) *Ciencia histórica: conceptos y etapas de la historia universal*. Madrid, Centro de Estudios Financieros.
- LARREA SAGARMINAGA, M. A. (1976) "Caminos en Vizcaya en la segunda mitad del Siglo XVIII". En VV. AA., *La Gran Enciclopedia Vasca*, Bilbao, Auñamendi.
- LLOMBART PALET, J. (1990) "Las matemáticas y otras ciencias en el País Vasco durante la ilustración. El Fondo Prestamero". En: J. Fernández Pérez e I. González Tascón (eds.) *Ciencia y Técnica y Estado en la España Ilustrada*. Madrid, Ministerio de Educación y Ciencia, 321–341.
- LLOMBART PALET, J. y HORMIGÓN, 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 Simposium d'Ensenyament i Història de les Ciències i de les Tècniques*, Barcelona, 1988, 439–452.
- LLOMBART PALET, J. e IGLESIAS MARTÍN, M. A. (1998) "Las aportaciones vascas al "arte de navegar" en algunos libros de náutica". *Revista de Estudios Marítimos del País Vasco, Untzi Museosa– Museo Naval*, 2, 525–536.
- MANTEROLA, M. (2015) *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*. Universidad de la Rioja: Programa de Doctorado de Ingeniería Eléctrica, Matemáticas y Computación. Departamento de Matemáticas y Computación. (Series Tesis Doctorales).
- MAZARREDO SALAZAR, J. (1790) *Lecciones de navegación para el uso de las compañías de Guardias Marinas*. Isla de León, Imprenta de su Academia.
- MEDINA, J. T. (1908) *El Veneciano Sebastián Caboto al servicio de España. Volumen I. Texto*. Santiago de Chile, Imprenta y Encuadernación Universitaria.
- ORDENANZAS GENERALES (1748) *Ordenanzas Generales de la Armada. Tomo I*. Madrid, Imprenta de Juan Zuñiga.
- ORDENANZAS SAN TELMO (1786) *Ordenanzas para el Real Colegio de San Telmo de Sevilla*. Madrid, Imprenta de la Viuda de Ibarra.
- PATOUN, A. (1739) *A complete treatise of practical navigation demonstrated from it's first principles: together with all the necessary tables. To which are added, the useful theorems of mensuration, surveying, and gauging; with their Application to Practice*. London, J. Brotherton, J. Hazard, W. Meadows, T. Cox, T. Astley, S. Austen, L. Gilliver, R. Ware, A. Millar, C. Corbet, R. Willocr.
- PULIDO RUBIO, J. (1950) *El Piloto Mayor de la Casa de Contratación de Sevilla. Pilotos mayores, catedráticos de cosmografía y cosmógrafos*. Sevilla, Escuela de Estudios Hispano Americanos.
- RECOPIACIÓN DE LEYES (1681) *Recopilación de Leyes de los Reynos de las Indias mandadas imprimir, y publicar por la Magestad Católica del Rey Don Carlos II Nuestro Señor. Volumen I*. Madrid, Julian de Paredes.
- SÁNCHEZ RECIENTE, J. (1742) *Tratado de trigonometria nautica y de la construccion y uso de las escalas plana y artificial y de la tabla de partes meridionales y algunos problemas curiosos, que para la educacion de los colegiales del Real Seminario de Sr. S. Telmo extra muros de la ciudad de Sevilla*. Sevilla, Imprenta de los Recientes.
- SÁNCHEZ RECIENTE, J. (1749) *Tratado de navegacion y theorica, y practica segun 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.

- SÁNCHEZ RECIENTE, J. (1751) *Tratado de Arithmetica theorica y practica segun el modo con que se enseña en el Real Colegio Seminario de San Telmo extra muros de la ciudad de Sevilla*. Sevilla, Imprenta de los Recientes en Calle de Genova.
- SELLÉS, M. y LAFUENTE, A. (1984) "La formación de los pilotos en la España del siglo XVIII. La ciencia moderna y el conocimiento del nuevo mundo" En: J.L. Peset (coord.) *Actas de la I Reunión de Historia de la Ciencia y de la Técnica de los Países Ibéricos e Iberoamericanos*. Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 149–192.
- SELLÉS, M. (1988) "La Academia y Observatorio de Marina". En: M. Sellés, J.L. Peset y A. Lafuente, *Carlos III y la ciencia de la Ilustración*. Madrid, Alianza Editorial, 173–186.
- SELLÉS, M. (2000) *Navegación Astronómica en la España del Siglo XVIII*. Madrid, Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- SEVEN DOCUMENTS. Seven documents with Irish reference from the legal section of the Bilbao archives. <<https://www.irishancestors.ie/wp-content/uploads/2013/09/Fannin-Bilbao-Coru%C3%B1a3.pdf>> [Consulta: 1-septiembre-2019].
- SOBEL, D. (1998) *Longitud*. Madrid, Debate.
- VICENS VIVES, J. (1977) *Historia Económica de España*. Barcelona, Vicens – Vives.
- WILSON, H. (1715) *Navigation new modell'd: Or a treatise of geometrical, trigonometrical, arithmetical and practical navigation*. London, Eben. Tracey, and the three Bibles on Lond-bridge, Ben. Pickard, and the three Bibles in the Minories; and W. Meadws, at the Angel, near the Fleece tavern in Cornbell.