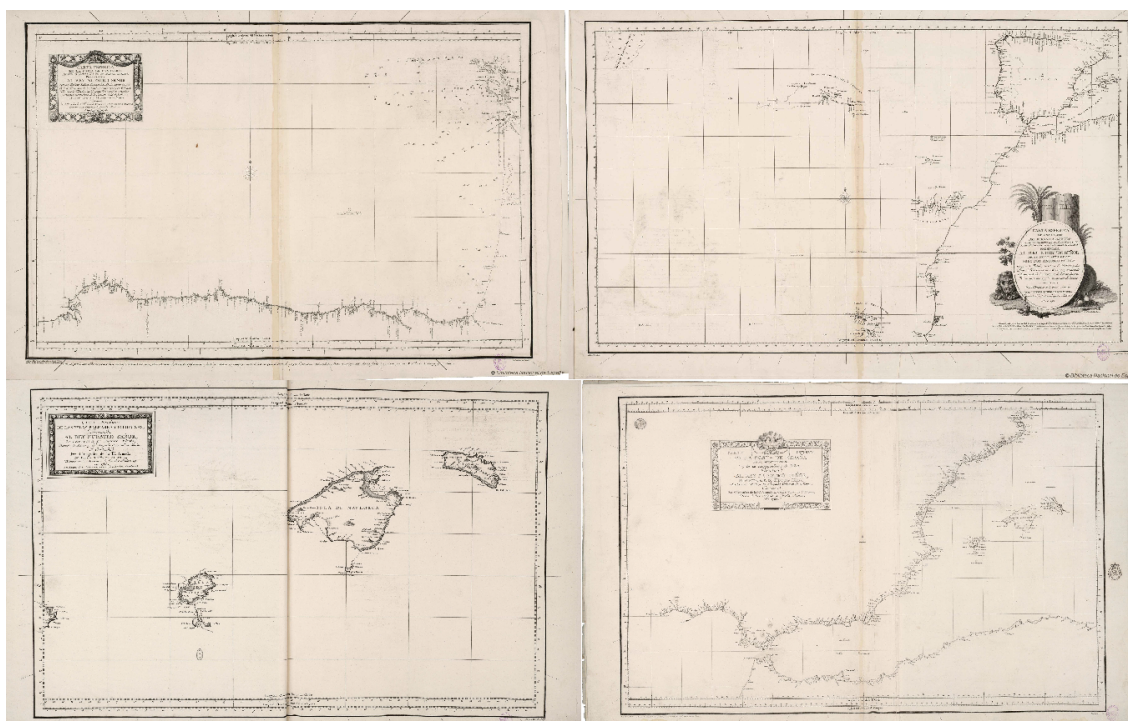


EL ATLAS MARÍTIMO DE ESPAÑA DE VICENTE TOFIÑO. AÑO 1789

Carlos Almonacid Ramiro - SCUAM

09-12-2016. Revisado 05-07-2021



Original en: <http://www.bne.es/es/Catalogos/BibliotecaDigitalHispanica/Inicio/>

Ficha

TÍTULO COMPLETO ATLAS MARÍTIMO DE ESPAÑA.

TIPO DE DOCUMENTO Atlas encuadernado. Formado por 47 láminas y una [portada](#). 62 x 93 cm.
ORIGINAL Calcografía en papel a una sola tinta.

De las 47 láminas, 22 corresponden a cartas esféricas, 16 a planos de puertos,

rías o fondeaderos y 9 a vistas de las costas. Cada carta esférica cubre una lámina completa, pero puede haber varios planos en una sola lámina. Además, algunas de las láminas de las cartas también incluyen planos y vistas. De tal modo que la obra está compuesta por 22 cartas esféricas, 34 planos y 138 vistas.

El Atlas iba acompañado de dos derroteros que completaban con textos y datos las descripciones de las costas: *El Derrotero de las costas de España en el Mediterráneo y su correspondiente de África para inteligencia y uso de las cartas esféricas (1787)* y *el Derrotero de las costas de España en el Océano Atlántico, y de las Islas Azores ó Terceras (1789)*.

AUTORES

Vicente Tofiño de San Miguel y Van der Walle (1732-1795)¹ construyó la mayor parte de las cartas, levantó la mayoría de los planos, coordinó y realizó las campañas hidrográficas en las que se obtuvieron los datos del Atlas. Era brigadier de la Real Armada y Director de las Academias de Guardias Marinas de Cádiz, Ferrol y Cartagena.

El capitán de navío **José Varela y Ulloa (1739-1794)** fue el autor de las tres cartas correspondientes a la costa de África en el océano Atlántico. Utilizó los datos de la expedición hidrográfica que junto a Jean Charles de Borda realizó en 1776 a las Islas Canarias y la costa occidental de África a bordo de la fragata de la marina francesa *La Boussole*. Francia solicitó al gobierno español los permisos pertinentes y éste comisionó a José Varela y Ulloa para que se uniera a la expedición y compartiera sus resultados².

Felipe Bauzá y Cañas (1764-1834), que más adelante llegaría a estar al frente de la Dirección Hidrográfica y que durante la elaboración del Atlas era piloto³, aparece como dibujante o delineante de algún plano y de varias láminas de vistas no firmadas por Tofiño.

FECHA EDICIÓN

1789

ORGANISMO PRODUCTOR / EDITOR

Los trabajos del Atlas fueron promovidos por el Secretario de Estado (ministro) de Marina Antonio Valdés y por su principal autor, el Director de las Academias de Guardias Marinas, Vicente Tofiño. En 1788, ya se habían impreso y publicado algunas de las cartas que forman el Atlas y la mayor parte de las planchas estaban grabadas. Entonces, se alquiló un local en Madrid para almacenarlas y se destinó al marino José de Vargas Ponce para gestionar todo lo referente a su edición y su venta. Esa dependencia fue conocida como Depósito Hidrográfico y sería el germen de la futura Dirección de Hidrografía⁴.

¹ MARTÍN LÓPEZ, J. (2001). *Cartógrafos Españoles*. Madrid, Centro Nacional de Información Geográfica, Ministerio de Fomento, 319 pp. p.289.

² GONZÁLEZ, F.J. Y MARTÍN-MERAS, L. (2003). *La Dirección de Trabajos Hidrográficos (1797 - 1908), Tomo I: Historia de la Cartografía Náutica en la España del siglo XIX*. Madrid, Lunweg Editores – Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica – Ministerio de Fomento. CNIG, p.41.

³ MARTÍNEZ Y GUANTER, A.L. (2011). Biografía de Don Felipe Bauzá y Cañas. *Revista General de Marina*, diciembre 2011, pp. 855-864. p.856.

⁴ GONZÁLEZ, F.J. Y MARTÍN-MERAS, L. (2003). op. cit. p.54.

AUTORES SECUNDARIOS El secretario de Estado y del despacho universal de Marina, excelentísimo señor Baylío Frey Don Antonio Valdés, promotor del proyecto, aparece como tal en todas las cartas, presentándolas al monarca.

En el Dictamen que valida el derrotero del Mediterráneo se dice que, en todas las operaciones hidrográficas, Tofiño estuvo “asistido de unos oficiales zelosos é instruidos y sobre todo al lado de su Maestro”⁵. Eran jóvenes que procedían de las Academias de Guardias Marinas: José de Vargas Ponce, Julián Ortiz Canelas, Alejandro Belmonte, José Espinosa y Tello, Dionisio Alcalá Galiano, José de Lanz y Juan Vernacci⁶. A ellos se unió el piloto Felipe Bauzá quien además de participar en la toma de datos aparece como el dibujante que delineó 16 de las 47 láminas del Atlas. El resto quizá fueran delineadas directamente por sus autores.

Rafael Mengs dibujó la portada de la obra que fue grabada por su cuñado, Manuel Salvador Carmona. Mengs era ingeniero militar e hijo del gran pintor Anton Rafael Mengs⁷.

Hay una larga lista de grabadores: Fernando Selma y Bartolomé Vázquez grabaron once planchas cada uno, Joaquín Ballester, Manuel Salvador Carmona y Juan de la Cruz entre siete y cuatro, Joaquín Pró, Moreno Texada, S. Brieva y J. Joaquín Fabregat grabaron una plancha cada uno; finalmente, el hijo de Bartolomé Vázquez, Josef y el hermano menor de Manuel Salvador Carmona, Juan Antonio, también grabaron una sola plancha. Por su parte, Santiago Droüet y Josef Assensio grabaron los textos de siete y cuatro planchas respectivamente. Además, otras tres planchas no fueron firmadas por su grabador.

Manuel Salvador Carmona y Juan de la Cruz habían estado pensionados por el Marqués de la Ensenada en París, junto con Tomás López, entre 1752 y 1760-62 para perfeccionarse en las nuevas técnicas de grabado⁸. Fernando Selma fue discípulo de Manuel Salvador, al igual que su hermano Juan Antonio Salvador⁹. La impronta de aquel grupo enviado por el ministro Ensenada a París en la estampación del Atlas y en el desarrollo editorial de la cartografía española fue muy notable.

ÁMBITO REPRESENTADO Las costas de la Península Ibérica, de las Baleares, sus correspondientes de Francia y el norte de África. La costa occidental de África hasta Cabo Verde incluyendo esas islas, las Canarias, Madeira y las Salvajes. También las islas Azores y parte del Atlántico hasta el banco de Terranova.

Cada una de las cartas del Atlas cubre una parte de la costa delimitada según el parecer del autor para mejor convenir a su uso en la navegación. Por tanto, los

⁵ Dictamen de la Junta de Generales... en TOFIÑO DE SAN MIGUEL, V. (1787). *Derrotero de las costas de España en el Mediterráneo y su correspondiente de África, para inteligencia y uso de las cartas esféricas*. Madrid, Imprenta Real, p. ij.

⁶ GONZÁLEZ, F.J. Y MARTÍN-MERAS, L. (2003). op. cit, p.55

⁷ FERNÁNDEZ GARCÍA, M. (1995). *Parroquia madrileña de San Sebastián. Algunos personajes de su archivo*. Madrid, Caparrós editores, 619 pp. p.172-174.

⁸ CARRETE PARRONDO, J. (1987). El grabado en el siglo XVIII. Triunfo de la estampa ilustrada. En Carrete, J., Checa, F. y Bozal, V. *El grabado en España (siglos XV al XVIII)*. SUMMA ARTIS. *Historia General del Arte*, vol XXXI. Madrid, Espasa-Calpe, p. 485.

⁹ REDONDO CANTERA, M.J. Y CARCELÉN, X. (2009). Fortuna pictórica del Apostolado de Juan Antonio Salvador Carmona. *BSAA arte LXXV* (2009). Universidad de Valladolid, pp. 235-246, p.236.

ámbitos representados en cada carta son de dimensiones muy diversas. Encontramos una representación completa de la Península en una carta que cubre una gran porción del Océano Atlántico desde Cabo Verde hasta el banco de Terranova a muy pequeña escala. Esa fue la primera ocasión en la que [la forma de la Península Ibérica](#) pudo ser observada en sus correctas proporciones, representada a partir de datos cartográficos rigurosos.

El Atlas carece de un índice o un mapa llave que facilite la comprensión de la distribución de todas las cartas. Tampoco incluye una carta general completa de las costas de la Península Ibérica más allá de la representación a pequeña escala referida más arriba.

ESCALA Y UNIDADES

La escala no se expresa nunca numéricamente. Las cartas esféricas tampoco van acompañadas de escala gráfica, pero se puede deducir con bastante aproximación a partir del tamaño de los arcos de sus mallas de meridianos y paralelos. La carta más general es la de “una parte del Océano Atlántico [...]” hasta Cabo Verde y hasta el banco de Terranova a escala aproximada 1:6.600.000, hay otras cartas generales a pequeña escala, entre 1:2.500.000 y 1:800.000 con las que se cubren las grandes zonas en las que se dividen las costas de la península Ibérica, las de África y las Azores. En la península, estas grandes zonas (costas del Mediterráneo, el Atlántico y el Cantábrico) se subdividen en varias partes que son representadas en cartas de mayor detalle a escalas intermedias, entre 1:500.000 y 1:200.000. Por último, se incluyen cartas esféricas a escalas entre 1:100.000 y 1:80.000 para las zonas de mayor interés como las islas de Menorca e Ibiza o la costa gaditana hasta Trafalgar.

Los planos se utilizan para la representación de puertos, fondeaderos o determinadas ensenadas y rías. Presentan escalas más grandes que las cartas – entre 1:50.000 y 1:4.000, aproximadamente – y no tienen en cuenta la esfericidad de la tierra ni utilizan sistemas de proyección cartográficos. Siempre llevan su correspondiente escala gráfica para la que emplean distintas unidades: la mayoría en millas marítimas, pero también en varas castellanas o, algunas incluso, en pies ingleses.

DISTRIBUCIÓN DE HOJAS

El orden de las láminas del ejemplar del Atlas de la Biblioteca Nacional que hemos manejado¹⁰, se corresponde con el de las campañas de captura de los datos en las costas españolas. Comienza por las del Mediterráneo, continúa por las del océano Atlántico y termina con las del Cantábrico. Al final, aparecen las islas Azores y, antes de las costas del Cantábrico, están las cartas correspondientes a África occidental y las islas Canarias y Madeira. Las láminas de las vistas y los planos se van intercalando entre las de las cartas esféricas.

Hubo una edición definitiva posterior, también de 1789, en la que se cambió esta confusa ordenación¹¹. El Atlas se iniciaba con las cartas esféricas, empezando por las de la costa cantábrica, siguiendo por las del Atlántico, el Mediterráneo y

¹⁰ TOFIÑO DE SAN MIGUEL, V. (1789). *Atlas Marítimo de España*. Madrid, Depósito Hidrográfico. Ejemplar en la Biblioteca Nacional de España, signatura GMG/122.

¹¹ BIBLIOTECA NACIONAL DE ESPAÑA (2001): *Tesoros de la cartografía española*. Madrid, Caja Duero y Biblioteca Nacional, 356 pp. p 115.

terminando con las de África. A continuación iban los planos manteniendo el mismo orden y, finalmente, las vistas.

ELEMENTOS
CARTOGRAFIADOS Y
TIPO DE
REPRESENTACIÓN

La información incluida en las cartas esféricas se limita al área costera y marítima. El principal elemento representado es la línea de costa. A ambos lados de la costa se representan elementos de interés para la navegación y la defensa costera. [Hacia el lado de tierra](#): ciudades y poblaciones fortificadas, torres de vigilancia y castillos, montañas visibles desde el mar, marismas, ríos y albuferas. [Hacia el lado del mar](#): profundidades de sonda en brazas, Islotes, escollos, bajos, bancos o placeres de arena. Escollos y bajos también aparecen cartografiados en zonas de alta mar. El detalle de la línea de costa y la densidad de los puntos de sonda aumenta en las cartas de mayor escala, llegando a indicarse con letras [el tipo de fondo](#) (piedra, arena, conchuela, cascajo, etcétera). En las cartas de mayor detalle queda muy bien dibujada la configuración de la costa: acantilados, escolleras, playas, marismas, estuarios o costas bajas son [fácilmente perceptibles](#) sin necesidad de una leyenda.

Muchos de los planos siguen este mismo esquema de representación. Pero algunos de ellos, hasta seis, van más allá de la zona costera y ofrecen una [imagen completa de la zona terrestre](#), incluyendo las ciudades con su callejero, el paisaje circundante con usos del suelo, caminos, ríos, arroyos y una buena representación del relieve mediante sombreado. Los planos más completos y detallados suelen contener una [leyenda clásica de tipo alfabético](#) o numérico en la que cada letra hace referencia a alguna entidad singular del mapa (A: Convento de San Francisco, B: Molino de Francisco Guerra, C: Batería de la primera aguada...), que la cartografía posterior terminará convirtiendo en topónimos y rotulaciones. Aún no se había generalizado el uso de signos convencionales y los elementos cartografiados de forma genérica como caminos, bosques, tierras de labor, esteros, casas, muros, playas, acantilados o cualquier otro, [debían ser reconocibles](#) a través de su imagen dibujada que, de hecho, tendía a una cierta abstracción pero aún no podía encerrarse en una plantilla de símbolos convencionales.

FECHA DE LOS DATOS

Desde 1776 hasta 1789. Con algunos datos de 1756 para las costas francesas. Uno de los principales valores de esta obra es que se basó en datos capturados a propósito para ella mediante campañas hidrográficas bien planificadas y desarrolladas en un periodo temporal reducido. Aunque su origen fuese fruto de la ocasión más que de la planificación. En 1776, España recibió la solicitud del gobierno francés para que una expedición hidrográfica al mando del oficial y geodesta Jean Charles Borda obtuviera datos de las islas Canarias y visitara otras posesiones del litoral africano. El gobierno español accedió y comisionó al capitán de navío José Varela y Ulloa para incorporarse a la expedición compartiendo tareas y resultados¹². Fruto de esos trabajos son las cartas firmadas por Ulloa que más tarde serían incluidas en el Atlas.

Vicente Tofiño, como Director de las Academias de Guardias Marinas, recibió el encargo del secretario de marina de revisar las cartas de Ulloa y prepararlas para

¹² GONZÁLEZ, F.J. Y MARTÍN-MERAS, L. (2003). op. cit., p.41.

su publicación. Tofiño mostró su interés por completarlas con otra carta desde el estrecho de Gibraltar al cabo de San vicente. Poco a poco, las comunicaciones entre Antonio Valdés y Tofiño van recogiendo la voluntad de ambos por ampliar el proyecto hasta cubrir todas las costas españolas¹³.

Con el apoyo del ministro Valdés y del secretario de estado Floridablanca, se organizaron las campañas hidrográficas para la formación del Atlas y la redacción de sus Derroteros. Comenzaron los trabajos en 1783 bajo la dirección de Tofiño desde Cádiz hacia el Mediterráneo. La costa española de este mar quedó cubierta por completo en 1785, incluyendo las costas de las Baleares y las del norte de África hasta el cabo Carbón en Bujía. Al año siguiente, se realizaron las campañas en las costas Atlánticas de la península desde el cabo Prior al norte de Galicia hasta el cabo San Vicente al sur de Portugal. No se consiguió autorización del gobierno portugués y los datos de sus costas solo se pudieron observar desde el mar. Entre mayo y diciembre de 1787 tuvo lugar la campaña para recoger los datos correspondientes a las costas cantábricas y en 1788 se levantaron los de las islas Azores. En esta ocasión, se contó con la autorización y ayuda de Portugal para tomar datos desde tierra en ese archipiélago¹⁴.

Hay que hacer mención de otros datos no procedentes de estas campañas a los que hubo que acudir para completar algunas zonas no cubiertas en ellas. Se indica mediante notas que las costas de Francia están extraídas de una carta publicada por orden del gobierno francés en 1756 y que las islas de Cabo Verde no fueron visitadas por José Varela y Ulloa que las tomó de una carta del capitán de navío francés M. Fleurieu. Sin duda, se trata de la *Carte du grand Océan Atlantique* publicada en 1776 obra de Charles Pierre Claret de Fleurieu.

SISTEMA DE PROYECCIÓN ORIGINAL

Las cartas esféricas utilizan la proyección cilíndrica de Mercator. Así queda expresado en el texto introductorio de los dos Derroteros que acompañaban al Atlas Marítimo de España. Concretamente en el primero de ellos, el *Derrotero de las costas de España en el Mediterráneo y su correspondiente de Africa*, se refieren las dificultades para el posicionamiento y la navegación en el pasado con el uso de las llamadas “cartas planas”¹⁵. En ellas la malla de meridianos y paralelos se construía utilizando grados de longitud de tamaño constante, aunque era bien conocido que este tamaño aumenta hacia el ecuador y disminuye hacia los polos. Hasta que a fines del siglo XVI Gerardo Mercator “imaginó” y resolvió el “discurso empleado en las cartas reducidas o esféricas”¹⁶: “basta poner la extensión N-S o latitud como lo está la E-O o longitud, que es aumentada en razón del coseno del radio”. El aumento del tamaño de los grados de longitud hacia los polos fue expresado por Edward Wright mediante tablas para facilitar la construcción de las cartas, “dándolos de minuto en minuto de grado”¹⁷ allá por los

¹³ GONZÁLEZ, F.J. Y MARTÍN-MERAS, L. (2003). op. cit, p.41.

¹⁴ ESPINOSA Y TELLO, J. (1809). *Memorias sobre las observaciones astronómicas hechas por los navegantes españoles en distintos lugares del globo*. 2 tomos, Madrid, Imprenta Real, tomo I, Memoria Primera p. 1 a 6.

¹⁵ TOFIÑO DE SAN MIGUEL, V. (1787). *Derrotero de las costas de España en el Mediterráneo y su correspondiente de Africa, para inteligencia y uso de las cartas esféricas*. Madrid, Imprenta Real, p. XXXIV y XXXV.

¹⁶ TOFIÑO DE SAN MIGUEL, V. (1787). op. cit, p. XXXV.

¹⁷ TOFIÑO DE SAN MIGUEL, V. (1787). op. cit, p. XXXVI.

años 1590. “Después ha habido otros que han calculado estas Tablas por método más preciso y exácto, qual es el diferencial, y son de las que se sirven en el dia los que construyen cartas.”¹⁸

La gran ventaja de la proyección de Mercator para la navegación es que representa como una recta la línea de rumbo entre dos puntos o loxodroma. Esta proyección se sigue utilizando en las cartas náuticas actuales.

En los planos no se utiliza ningún sistema de proyección cartográfica.

DATUM/FIGURA DE REFERENCIA

No se indica. Atendiendo al modo de tomar los datos y de reflejarlos en las cartas descrito en los derroteros¹⁹, se deduce que no se emplea elipsoide ni figura matemática alguna. Las cartas recogen coordenadas geográficas observadas directamente sobre la superficie de la tierra (geoide) y no coordenadas geodésicas reducidas a un elipsoide. La clave estaría en las Tablas utilizadas para el trazado de la malla de meridianos y paralelos a las que nos referíamos en el punto anterior. Quizá las correcciones posteriores a Wright incluyeran la transformación a algún elipsoide, pero esto no se especifica. Lo más probable es que continuaran basándose en la tierra esférica y que solo introdujeran el cálculo diferencial.

RETÍCULA Y MARCO GRADUADOS. MERIDIANO ORIGEN

Todas las cartas tienen la retícula ortogonal de meridianos y paralelos propia de las cartas esféricas. En ellas han desaparecido por completo las mallas de líneas de rumbo de las cartas náuticas antiguas. Encontramos [líneas de rumbo](#) solo en los planos que no tienen retícula de referencia a las coordenadas geográficas y si a las enfilaciones y rumbos de aproximación a puertos o puntos singulares. Las cartas esféricas se rodean con marcos graduados, subdivididos con mayor o menor detalle atendiendo a su escala. El origen de latitudes siempre está en el ecuador y el de longitudes en el Meridiano de Cádiz. Se trata del [meridiano viejo de Cádiz](#) situado en la primera ubicación de la Academia de Guardias Marinas en el castillo viejo de la ciudad²⁰. José Espinosa y Tello promedió y compensó las numerosas observaciones astronómicas con respecto al meridiano de París que habían ido realizando en Cádiz los principales geodestas de la época – Jorge Juan, Godin, Tofiño o Mechain entre otros –. Hemos utilizado la posición establecida por Espinosa y Tello a finales de la década de 1790, recogida en la obra de A. Lafuente y M. Sellés sobre el observatorio gaditano²¹, para situar la longitud del viejo meridiano de Cádiz a 6°17'14,025" al oeste de Greenwich.

En todas las cartas se incluyen líneas graduadas referidas a distintos meridianos: normalmente el de París y el de Tenerife que quedan situados a 8°36' E y a 10° 22' O de Cádiz, respectivamente. En la carta de las Azores se incluye referencia al meridiano de Greenwich situándolo a 6°16' O del de Cádiz. Las posteriores operaciones, ya citadas, de Espinosa y Tello terminaron por corregir 1' la posición

¹⁸ TOFIÑO DE SAN MIGUEL, V. (1787). op. cit, p. XXXVI.

¹⁹ TOFIÑO DE SAN MIGUEL, V. (1787). op. cit, p. XLVj y siguientes.

²⁰ CANO, J.M. (2003). *La Dirección de Trabajos Hidrográficos (1797 - 1908), Tomo II: Catálogo de las cartas náuticas publicadas*. Madrid, Lunwerg Editores – Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica – Ministerio de Fomento. CNIG, p. 12.

²¹ LAFUENTE, A. Y SELLES, M. (1988). *El Observatorio de Cádiz (1753-1831)*. Madrid, Ministerio de Defensa, Secretaría General Técnica, 469pp, p 305 a 308.

del observatorio de Cádiz respecto a los dos principales observatorios europeos estableciéndola a 8°37' O de París y 6°17' O de Greenwich.

Las cartas del Mediterráneo también incluyen la referencia al meridiano que pasaba por la Academia de Guardias Marinas de [Cartagena](#) a 5°16' E de Cádiz. Las cartas del Atlántico y el Cantábrico refieren el meridiano de la Academia de [Ferrol](#) en el que se instaló el principal observatorio para la zona noroeste de la península. La longitud del observatorio de Ferrol utilizada por Tofiño – 1°48' O de Cádiz – tiene un error muy notable de 6'30" respecto a la posición mucho más ajustada a la realidad que Espinosa y Tello estableció poco tiempo después como promedio con otras observaciones a 1°55'30" O de Cádiz²². Este error – equivalente a unos 9 kilómetros – enturbia la exactitud del trazado de algunas de las costas del norte y el occidente peninsular en el Atlas. Es muy [apreciable al comparar](#) la representación de esa zona en las cartas del Atlas con la cartografía posterior.

Todos los planos carecen de marco graduado de latitudes y longitudes.

MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Los métodos de posicionamiento, de captura de datos y de formación de las cartas esféricas del Atlas quedan explicados con claridad en el texto del *Derrotero de las costas de España en el Mediterráneo...* concretamente, en la parte segunda de su introducción, dedicada a los "Métodos con que se han trazado las cartas de esta colección"²³. Se basaban en observaciones astronómicas, en triangulaciones geodésicas y en la utilización del más moderno instrumental entre el que hay que destacar los cronómetros marinos, con los que se había logrado dar por resuelto el grave problema de la longitud a finales de la década de 1760.

PROCEDENCIA DEL DOCUMENTO

Biblioteca Nacional de España. Biblioteca Digital Hispánica: <http://www.bne.es/es/Catalogos/>

DIGITALIZACIÓN

Biblioteca Digital Hispánica.

Formato: PDF.

Fecha de digitalización/descarga: digitalización desconocida. Fecha de descarga 13/02/2015.

Resolución: 300 dpi.

Modo de color: RGB.

EDICIÓN CARTOGRÁFICA DIGITAL

Georreferenciación:

El procedimiento de georreferenciación que venimos empleando solo es aplicable a las cartas esféricas del Atlas. Los planos y vistas, de momento, no se pueden integrar en el visor.

- Transformación de las imágenes de las cartas esféricas al formato JPEG.

²² Espinosa y Tello, J. (1809). op. cit. tomo I, Memoria Primera p. 27.

²³ Tofiño de San Miguel, V. (1787). op. cit, p. XLVj a LVIIj.

- Georreferenciación en el sistema de proyección que hemos encontrado más cercano al original: proyección cilíndrica de Mercator utilizando como figura de la tierra la esfera mayor auxiliar del sistema WGS84 con origen de latitudes en el meridiano viejo de Cádiz a $-6,28722916666666620$ grados decimales de Greenwich. Utilizamos una figura de la tierra definida casi dos siglos después de la construcción del mapa porque creemos que, tal y como se expresa en el texto de los Derroteros de Tofiño, la geodesia de este mapa se basó en coordenadas geográficas observadas sobre el terreno con procedimientos fundamentalmente astronómicos, sin utilizar coordenadas geodésicas reducidas a la superficie matemática de ningún elipsoide. Por tanto, podemos utilizar cualquier figura matemática que se aproxime bien a la superficie física de la tierra en esta zona, superficie física sobre la que referían sus mediciones y tomas de posición los marinos que trazaron estas cartas. Además, el capítulo de introducción de los Derroteros indica que la malla de meridianos y paralelos de las cartas se construía en razón de la proyección de Mercator con arreglo a las Tablas de E. Wright de los años 1590 y a sus correcciones diferenciales realizadas posteriormente por "otros"²⁴. Desconocemos si en los cálculos para la preparación de esas Tablas corregidas se hizo intervenir algún elipsoide o solamente se utilizaba la geometría de la esfera. El texto no ofrece este dato, pero la explicación recogida solo hace referencia al radio de la tierra esférica y a su coseno en cada latitud. A la vista del resultado de nuestras comprobaciones, lo más probable es que la figura de la tierra empleada en estas cartas sea una esfera.

En el proceso de georreferenciación de cada carta, se situaron varios puntos homólogos en cruces de meridianos y paralelos bien distribuidos por la superficie del mapa y se emplearon transformaciones polinómicas de primer o de segundo orden. El error RMS resultante siempre ha resultado adecuado para la escala de cada mapa.

- Ajuste mediante triangulación de los ficheros georreferenciados a la malla teórica de meridianos y paralelos generada numéricamente y coincidente con la representada cada mapa.
- Transformación al sistema de referencia UTM huso 30 datum ETRS89.
- Compresión de las imágenes finales al formato ECW.

²⁴ TOFIÑO DE SAN MIGUEL, V. (1787). op. cit, p. XXXV-XXXVI.

Valoración y comentario

El monumental *Atlas marítimo de España* de Vicente Tofiño se situó en la cumbre de la cartografía náutica de su época. Constituyó el primer mapa de España realizado según los nuevos procedimientos de la cartografía científica: utilizó las más modernas técnicas e instrumentos, se fundamentó en bases geodésicas y capturó sus datos mediante levantamientos geométricos rigurosos en una serie de campañas hidrográficas que se realizaron en solo seis años, entre 1783 y 1788²⁵. Al mismo tiempo, se iban delineando, grabando e imprimiendo las cartas junto con el resto de láminas del Atlas y se redactaron los dos extensos derroteros que lo acompañaban completándolo con textos y datos. No es extraño que tan arduo y riguroso trabajo recibiera la mayor consideración, teniendo en cuenta que en esa época todavía una gran parte de la cartografía editada era de gabinete y tenía un carácter meramente recopilatorio, incluyendo sin reparos datos extraídos de relaciones escritas, de referencias históricas o de simples relatos de viajeros.

El éxito del proyecto del Atlas marítimo se fundamentó en el manifiesto apoyo del gobierno, principalmente del secretario de Marina Antonio Valdés pero también del primer secretario y hombre fuerte del momento, el conde de Floridablanca. Los gobiernos ilustrados venían impulsando las reformas de la Real Armada desde la época del Marqués de la Ensenada. Habían entendido que La corona española era la cabeza de un vasto imperio colonial cuya cohesión necesitaba de una Armada capaz de mantener la independencia del poder de España frente a sus enemigos británicos y a sus aliados franceses. De tal modo que a fines del siglo XVIII la marina española había llegado a ser equiparable a la británica con la que pugnaba por el dominio marítimo. La Armada estaba mejor dotada en medios y efectivos que otras partes de la administración o del ejército y sus oficiales participaban de la formación y el pensamiento ilustrados. Los marinos organizaron importantes expediciones²⁶ de carácter científico con objetivos esencialmente cartográficos que, además, reforzaban la cohesión del imperio y sus colonias. La de mayor alcance fue la expedición Malaspina (1789-1794) que recorrió las costas de América desde Montevideo hasta la isla de Nutka y después pasó a las Filipinas y otras islas del Pacífico. La expedición de la fragata *Santa María de la Cabeza* ya había cartografiado el estrecho de Magallanes y el cabo de Hornos (1785-1786) y después, en 1792, se organizó la expedición del Atlas de la América Septentrional para reconocer las costas en torno al Caribe y sus islas.

La formación astronómica, matemática y cartográfica de los oficiales de la Armada se vio reforzada desde que Jorge Juan fue nombrado director de la Academia de Guardias Marinas en 1752. Estableció el observatorio de Cádiz en 1753 dentro de las dependencias de la Academia en el castillo viejo de la ciudad dotándolo del instrumental adecuado²⁷. En 1755, atrajo como profesor de matemáticas a un joven y brillante Vicente Tofiño, que no era marino sino oficial del ejército y procedía de la Academia de artillería²⁸. En la década de 1760, los oficiales de la Armada salidos de la Academia de Cádiz estarán en disposición de hacer avanzar la cartografía hidrográfica española hasta la primera línea de la hidrografía internacional.

²⁵ ESPINOSA Y TELLO, J. (1809). op. cit. tomo I, Memoria Primera p. 1 a 6.

²⁶ GONZÁLEZ, F.J. Y MARTÍN-MERAS, L. (2003). op. cit, p.41-51.

²⁷ CANO, J.M. (2003). op. cit, p. 12.

²⁸ MARTÍN-MERAS, L Y RIBERA, B. (1990). *Catálogo de Cartografía Histórica de España en el Museo Naval*. Madrid, Museo Naval-Ministerio de Defensa. 435pp. p.XIV.

La resolución del problema de la longitud

A lo largo del siglo XVIII se habían producido grandes innovaciones en el instrumental utilizado para la toma de datos cartográficos. La lectura de ángulos para puntos de la superficie terrestre se facilitó con el teodolito telescópico desarrollado por Jonathan Sisson en 1737²⁹. Era resultado de aplicar un telescopio óptico al teodolito tradicional que venía utilizándose desde el siglo XVI. El propio Sisson y otros constructores de instrumentos fueron introduciendo mejoras en este aparato: base con tornillos de nivelación, escalas de vernier, etcétera. Por otra parte, desde 1759, con el desarrollo del sextante³⁰ moderno se había mejorado notablemente la toma de datos de latitud y la medida rápida de ángulos.

Pero fue a finales de la década de 1760 cuando se consiguió un enorme avance para la cartografía: se pudo dar por resuelto el problema de la determinación precisa de la longitud. La latitud se venía calculando con suficiente exactitud desde siglos atrás mediante la observación de la altura del sol y los astros. Pero no existía un método igualmente certero y asequible para determinar la longitud más allá de los puntos situados mediante observaciones astronómicas complejas. El inicio de la solución vino de la mano de los métodos astronómicos con la publicación de las tablas de distancias lunares de Tobias Mayer en 1752. En ellas se fijaba la diferencia horaria entre dos puntos a partir de la posición de la luna respecto al sol o a determinadas estrellas. Mayer simplificó los métodos de cálculo, pero la exactitud de este método se basaba en la precisión en la medida de los ángulos entre la luna y los distintos cuerpos celestes recogidos en las tablas, lo que no fue sencillo hasta la invención del sextante con óptica de reflexión en 1759.

Hacia tiempo que se confiaba en que la solución llegaría trasladando consigo la hora de un observatorio de referencia y calculando la diferencia de la hora local con respecto a él. Pero no existían relojes que consiguieran mantener la hora sin variaciones al ser trasladados. Hasta que en 1735 el británico John Harrison (1693-1776) construyó el primer reloj capaz de conservar la hora dentro de un margen razonable durante los desplazamientos. Pesaba 32 kilos y medía un metro de lado, su manejo y mantenimiento exigían gran atención y esmero. De modo que el Consejo de la Longitud londinense no le otorgó el premio estipulado para quien resolviera definitivamente el problema. Pero valoró positivamente el prototipo, llamado H1, y recomendó que se asignaran fondos a Harrison para que continuara con sus trabajos. Así, fue desarrollando el H2 (1741), el H3 y, finalmente, el H4 que presentó en 1760. Con soluciones mecánicas muy novedosas Harrison consiguió que su cuarto reloj fuera realmente portátil. Pesaba 1,36 kg y medía solo 127mm. Pero su coste era altísimo y, además, hubo cierta controversia sobre los datos de sus viajes de prueba a Jamaica y a Barbados. Harrison continuó trabajando en el H5 y el Consejo de la Longitud no terminó de dar el problema por resuelto³¹. James Cook en su segunda expedición (1772-75) utilizará los nuevos cronómetros y comprobará su utilidad.

Paralelamente, en Francia, los relojeros Pierre le Roi (1717-1785) y Ferdinand Berthoud (1727-1807) comenzaron a desarrollar sus propios cronómetros marinos contando con la evidencia de que el problema de la longitud se resolvería con el empleo de relojes. Le Roi inventó el preciso y sencillo escape de gatillo o a *detente* en 1748³² y presentó sus primeros cronómetros entre 1756 y 1763. Berthoud lo hizo en 1764 y fue

²⁹ MORRISON-LOW, A. D. (2007). *Making Scientific Instruments in the Industrial Revolution*. Ashgate Publishing, Ltd. p. 136. A través de https://en.wikipedia.org/wiki/Jonathan_Sisson.

³⁰ MAY, W. E. *A History of Marine Navigation*, G. T. Foulis & Co. Ltd., Henley-on-Thames, Oxfordshire, 1973. A través de [https://en.wikipedia.org/wiki/John_Campbell_\(Royal_Navy_officer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/John_Campbell_(Royal_Navy_officer)).

³¹ SOBEL, D. (1995). *Longitud*. Ed. Anagrama, 192 pp.

³² *Britten's Watch & Clock Makers' Handbook Dictionary & Guide Fifteenth Edition* p.122. A través de https://en.wikipedia.org/wiki/Pierre_Le_Roi.

nombrado *Horloger de Marine* convirtiéndose en el principal suministrador de relojes de la Marina francesa³³ y, poco después, de la Armada española, empresa en la que continuó su sobrino Louis. Cuando se inició la elaboración del *Atlas Marítimo de España*, el observatorio de Cádiz contaba con ocho relojes de Berthoud, dos de los cuales se embarcaron en la expedición de Tofiño³⁴.

John Arnold (1736-1799) remitió su primer reloj al Consejo de la Longitud londinense en 1771 tras haber perfeccionado el escape de gatillo consiguiendo relojes más sencillos, robustos y baratos. Ese tipo de mecanismo llegó a llamarse “escape de cronómetro” y se convirtió en la base de todos los cronómetros marinos. El Consejo londinense reconoció al ya anciano Harrison haber estado a la cabeza de la resolución del problema con sus relojes y le otorgó el Premio de la Longitud en 1773.

La nueva metodología cartográfica de base científica

La metodología de trabajo de los marinos está explicada en el texto del *Derrotero de las costas de España en el Mediterráneo...*³⁵ que acompañaba al Atlas. Queda resumida en el Dictamen de la Junta de Generales que valida la obra y que encontramos en sus páginas iniciales:

“[...] la obra está desempeñada por una serie no interrumpida de operaciones Astronómicas y Geométricas que la confirman: las latitudes observadas por muchos sujetos y con excelentes sextantes a un tiempo y separadamente; el giro de la costa y sus varios arribamientos tomados escrupulosamente con diferentes Teodolites en puntos fixos, o con excelentes Abujas Acimutales en la mar; y las Longitudes sirviéndose de relojes muy experimentados, y de cuya marcha se han hecho verificaciones a menudo, resultando cortísima diferencia [...]; y además en muchos lugares se han determinado las Longitudes por los eclipses del primero y segundo satélite de Júpiter, procurando y logrando tener las correspondientes observaciones hechas en París al mismo tiempo, y como se ha visto la conformidad de su resultado con los que daban los relojes siendo por métodos tan independientes es prueba incontestable de las Longitudes que se infirieron solo por el uso de ellos.”³⁶

Se realizaban las observaciones astronómicas más precisas en los observatorios que se posicionaron como principales: Cádiz, Algeciras, Cartagena, Alicante, Cadaqués, Mallorca, Menorca e Ibiza para la costa del Mediterráneo; Pasajes, San Sebastián, Santoña, Santander, Ferrol y Coruña para la costa norte. En ellos se solía ajustar la marcha de los relojes y se compensaban los puntos intermedios. También mediante observaciones astronómicas se situaban en tierra otros puntos de observatorio. Con respecto a ellos se situaban los vértices de las bases de triangulación cuya distancia se medía con la mayor exactitud en pies ingleses y leguas. A partir de cada base se generaba una red de triángulos utilizando teodolitos para medir los ángulos que formaban sus vértices. Desde los vértices de los triángulos se realizaban marcaciones (lecturas de ángulos) cruzadas a los elementos que debían ser situados. Otros objetos se situaban con marcaciones simples desde puntos bien localizados, como la cumbre de la isla de Mallorca. También se capturaban datos desde la fragata y el bergantín que formaban la expedición. En ese caso, se establecía la posición de los dos vértices de una base

³³ *Ferdinand Berthoud (1727-1807). Horloger mécanicien du roi et de la marine*, Musée international d'horlogerie, La Chaux-de-Fonds ; Musée de la Marine, Paris, 1984, 343 p. A través de https://fr.wikipedia.org/wiki/Ferdinand_Berthoud.

³⁴ TOFIÑO DE SAN MIGUEL, V. (1787). op. cit, p. XLVij.

³⁵ TOFIÑO DE SAN MIGUEL, V. (1787). op. cit. p. XLV y siguientes.

³⁶ TOFIÑO DE SAN MIGUEL, V. (1787). op. cit. p. i.

marina, uno por la mañana y el otro a las tres horas de navegación. Su longitud geográfica se fijaba mediante el reloj y su latitud mediante observaciones redundantes con los sextantes. Desde ambos vértices se realizaban marcaciones a los principales puntos de la costa mientras que a lo largo de la línea de navegación se iban realizando enfilaciones a los cabos, montes o pueblos visibles en el recorrido. La localización de los puntos de sonda se realizaba desde tierra o desde las naves. Desde la costa, midiendo la posición del bote al arriar el escandallo con respecto a los dos extremos de una base terrestre con brújulas o teodolitos. Además, se sondaba durante la navegación de la fragata a lo largo de las bases marinas y también desde el bergantín, más cercano a la costa, localizando sus posiciones relativas a la fragata marcando al mismo tiempo dos objetos convenidos.

Las posiciones así calculadas se trasladaban al papel utilizando un preciso transportador (“reportador”) de ángulos y, finalmente, a las planchas de cobre para el grabado de las cartas con un método directo que también aparece explicado en la introducción del *Derrotero*.... Este procedimiento se fundamentaba en el grabado previo de la malla de meridianos y paralelos sobre las planchas de cobre según las tablas de Wright. Sobre la malla grabada se situaban y se marcaban con toda precisión los puntos principales a partir de las notas de sus coordenadas. Solo entonces se ajustaban sobre ellos los dibujos en papel que contenían el trazado de la costa con el resto de elementos a representar y se procedía a su grabado.

El error del meridiano de Ferrol en el Atlas de Tofiño

Cuando se comparan las costas de Galicia trazadas en las cartas de Tofiño con la cartografía posterior, se puede apreciar una diferencia considerable. La conformación del intrincado contorno costero de la zona noroeste de la península está tratada en la carta del reino de Galicia del Atlas de Tofiño con la minuciosidad y el cuidado a los que nos tiene acostumbrados. Pero todo [el conjunto está desplazado](#) unos diez kilómetros hacia el este. La razón se encuentra en que todos los datos del noroeste peninsular tenían como referencia el meridiano de Ferrol y la longitud asignada a este meridiano en las cartas del Atlas – [1°49’ al oeste de Cádiz](#) – era incorrecta.

El observatorio de Ferrol, al igual que el de Cádiz, estaba vinculado a la Academia de Guardias Marinas pero la Academia de Ferrol se había fundado hacía poco tiempo, en 1776, y no contaba con el historial de observaciones del observatorio gaditano. En las *Memorias sobre las observaciones astronómicas hechas por los navegantes españoles en distintos lugares del globo*, publicadas por José Espinosa y Tello en 1809, se da noticia de las observaciones realizadas para fijar la posición del observatorio de Ferrol. Las primeras son del verano de 1786, es decir, de la campaña del Atlas de Tofiño: “No sabemos que antes de 1787 se hubiese hecho por nuestra parte ninguna observación astronómica, en esta extensión de costa, de la qual solo los cabos de Ortegal y Finisterre estaban regularmente situados en latitud y longitud por el Capitán Cook y Mr. Borda”³⁷.

La primera observación se realizó el 16 de julio de 1786 y fue indirecta. Se observó en La Coruña la inmersión del segundo satélite de Júpiter y pudo compararse con la hora observada en Greenwich para el mismo fenómeno. Ferrol y La Coruña se habían unido mediante operaciones trigonométricas durante la campaña del Atlas, de modo que se pudo trasladar la observación y deducir que el meridiano de Ferrol que pasaba por la Academia estaba a 1°56’45” de Cádiz³⁸.

³⁷ ESPINOSA Y TELLO, J. (1809). op. cit. tomo I, Memoria Primera p. 2.

³⁸ En tiempo 00h 07min 47seg. ESPINOSA Y TELLO, J. (1809). op. cit. tomo I, Memoria Primera p. 24.

Pero se estimó más oportuno realizar una toma de datos directa desde el mismo Ferrol y el 3 de agosto se pudo observar “con mucha exactitud”³⁹ la inmersión del primer satélite de Júpiter desde la Academia. Este fenómeno no fue registrado en ningún otro observatorio, pero M. Lalande informó que otras observaciones del mismo satélite hechas en París por las mismas fechas, se habían producido prácticamente en los mismos instantes en los que estaban previstas en las tablas publicadas por el Observatorio Real parisino. La comparación con la hora prevista para la inmersión del satélite en esas tablas dio como resultado la diferencia errónea de longitud de 1°48' con respecto a Cádiz, ligeramente corregida en las cartas del Atlas hasta 1°49'. Todo esto está explicado en las referidas *Memorias...* de Espinosa y Tello en las que, consciente del error, también nos indica que “la longitud del Observatorio de Guardias marinas de Ferrol, que en 1786 determinamos sobre un solo resultado por no diferir la publicación de la obra, puede decirse que queda ya bien conocida por medio de las nueve observaciones de eclipses de Sol y satélites conseguidas desde entonces”⁴⁰. “El medio aritmético de estas nueve diferencias establece la longitud del Observatorio de Ferrol al O del de Cádiz 00h 07' 42” en tiempo, y en grados..... 1°55'30”⁴¹.” La deficiente observación de agosto de 1786 no se hizo intervenir en el cálculo de la media, mientras que la primera hecha desde La Coruña, más acorde con las otras ocho realizadas entre agosto de 1787 y octubre de 1793, sí que se tuvo en cuenta.

La cuestión es que entre la longitud del meridiano de Ferrol marcada en el Atlas a 1°49' de Cádiz y la más rigurosa establecida después en 1°55'30' hay una diferencia muy notable de 6'30" equivalentes a unos 9 kilómetros, aproximadamente el error que podemos apreciar en las cartas de Tofiño en toda esta zona.

La primera representación fidedigna de la Península Ibérica

La carta esférica de una parte del Océano Atlántico, construida en 1788 por Vicente Tofiño cubriendo una gran porción de este océano desde Cabo Verde al banco de Terranova, incluye la primera representación completa de la Península Ibérica realizada a partir de datos científicos fidedignos, capturados con la metodología cartográfica rigurosa empleada en las campañas del Atlas. Su diferencia con las inexactas representaciones anteriores – véase, por ejemplo, el mapa de T. López de 1770 – y su semejanza con la cartografía actual es evidente.

Como hemos visto, los trabajos del Atlas no estaban exentos de errores. Afortunadamente, esta carta, al igual que la de la costa atlántica de la península, se construyó un año más tarde que la del reino de Galicia e incorporó correcciones en buena parte de la costa gallega. El error inicial se redujo aproximadamente a la mitad en esa zona.

La costa portuguesa, entre la desembocadura del Miño y el cabo San Vicente, es la parte peor ajustada a la forma real de la Península. Los dos grandes senos que configuran esa costa al norte y al sur del cabo da Roca son algo más cóncavos de lo necesario, también el entorno de la desembocadura del Tago se sitúa unos seis kilómetros demasiado hacia el este. Tofiño no obtuvo permiso del reino portugués para la captura de datos en sus costas hasta la posterior campaña de las islas Azores⁴² y los trabajos de la costa peninsular portuguesa

³⁹ ESPINOSA Y TELLO, J. (1809). op. cit. tomo I, Memoria Primera p. 23.

⁴⁰ ESPINOSA Y TELLO, J. (1809). op. cit. tomo I, Memoria Primera p. 3.

⁴¹ ESPINOSA Y TELLO, J. (1809). op. cit. tomo I, Memoria Primera p. 27.

⁴² ESPINOSA Y TELLO, J. (1809). op. cit. tomo I, Memoria Primera p. 1 a 6.

tuvieron que ser realizados sin apoyo terrestre. Como se puede apreciar, esto comprometió sustancialmente la precisión de los resultados.

Encontramos otras zonas que, al igual que en algunas de las cartas parciales del Atlas, tampoco están del todo ajustadas a su posición real. Así sucede en el cabo Peñas y parte de la costa asturiana. Pero el resultado es, en general, muy acertado y permitió la visualización completa de un trazado fiel del contorno costero peninsular. Lamentablemente, el tamaño de la península Ibérica en esta carta no alcanza más que unos pocos centímetros debido a la pequeña escala – aproximadamente 1:6.600.000 – propia de una carta de carácter muy general.

Bibliografía

BIBLIOTECA NACIONAL DE ESPAÑA (2001): *Tesoros de la cartografía española*. Madrid, Caja Duero y Biblioteca Nacional.

Britten's Watch & Clock Makers' Handbook Dictionary & Guide Fifteenth Edition p.122. A través de http://en.wikipedia.org/wiki/Pierre_Le_Roy.

CANO, J.M. (2003). *La Dirección de Trabajos Hidrográficos (1797 - 1908), Tomo II: "Catálogo de las cartas publicadas"*. Madrid, Lunwerg Editores – Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica – Ministerio de Fomento. CNIG, 424 pp.

CARRETE PARRONDO, J. (1987). El grabado en el siglo XVIII. Triunfo de la estampa ilustrada. En Carrete, J., Checa, F. y Bozal, V. *El grabado en España (siglos XV al XVIII)*. SUMMA ARTIS. Historia General del Arte, vol XXXI. Madrid, Espasa-Calpe.

ESPIAGO, J. (2008). Tierra y naturaleza: cartografía del mundo. En: Artola, M. (Dir.). *Historia de Europa* (pp. 853-942). Madrid, Espasa Calpe.

ESPINOSA Y TELLO, J. (1809). *Memorias sobre las observaciones astronómicas hechas por los navegantes españoles en distintos lugares del globo*. 2 tomos, Madrid, Imprenta Real.

FERNÁNDEZ GARCÍA, M. (1995). *Parroquia madrileña de San Sebastián. Algunos personajes de su archivo*. Madrid, Caparrós editores, 619 pp.

GONZÁLEZ, F.J. Y MARTÍN-MERAS, L. (2003). *La Dirección de Trabajos Hidrográficos (1797 - 1908), Tomo I: "Historia de la Cartografía Náutica en la España del siglo XIX"*. Madrid, Lunwerg Editores – Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica – Ministerio de Fomento. CNIG, 252 pp.

LAFUENTE, A. Y SELLES, M. (1988). *El Observatorio de Cádiz (1753-1831)*. Madrid, Ministerio de Defensa, Secretaría General Técnica, 469 pp.

Louis Berthoud. (2015, septiembre 17). Wikipédia, l'encyclopédie libre. Page consultée le 12:48, avril 7, 2016.

MARTÍN LÓPEZ, J. (2001). *Cartógrafos Españoles*. Madrid, Centro Nacional de Información Geográfica, Ministerio de Fomento, 319 pp.

MARTÍN-MERÁS, L. Y RIBERA, B (1990) *Catálogo de cartografía histórica de España en el museo naval*. Museo Naval-Ministerio de Defensa.

MARTÍNEZ Y GUANTER, A.L. (2011). Biografía de Don Felipe Bauzá y Cañas. *Revista General de Marina*, diciembre 2011, pp. 855-864.

MAY, William Edward (1973) *A History of Marine Navigation*. G. T. Foulis & Co. Ltd., Henley-on-Thames, Oxfordshire. A través de [https://en.wikipedia.org/wiki/John_Campbell_\(Royal_Navy_officer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/John_Campbell_(Royal_Navy_officer)).

MORRISON-LOW, A. D. (2007). *Making Scientific Instruments in the Industrial Revolution*. Ashgate Publishing, Ltd. p. 136. A través de https://en.wikipedia.org/wiki/Jonathan_Sisson.

MUSÉE INTERNATIONAL D'HORLOGERIE, La Chaux-de-Fonds (1984). *Ferdinand Berthoud (1727-1807). Horloger mécanicien du roi et de la marine*. Paris, Musée de la Marine, 343 p. A través de https://fr.wikipedia.org/wiki/Ferdinand_Berthoud.

REDONDO CANTERA, M.J. Y CARCELÉN, X. (2009). Fortuna pictórica del Apostolado de Juan Antonio Salvador Carmona. *BSAA arte LXXV* (2009). Universidad de Valladolid, pp. 235-246.

SOBEL, D. (1995). *Longitud*. Ed. Anagrama, 192 pp.

TOFIÑO DE SAN MIGUEL, V. (1787). *Derrotero de las costas de España en el Mediterráneo y su correspondiente de Africa, para inteligencia y uso de las cartas esféricas*. Madrid, Imprenta Real.

TOFIÑO DE SAN MIGUEL, V. (1789). *Derrotero de las costas de España en el Océano Atlántico, y de las Islas Azores ó Terceras, para inteligencia y uso de las cartas esféricas*. Madrid, Imprenta Real.

TOFIÑO DE SAN MIGUEL, V. (1789). *Atlas Marítimo de España*. Madrid, Depósito Hidrográfico. Ejemplar en la Biblioteca Nacional de España, signatura GMG/122.