

# LAS CORRECCIONES A LAS ALTURAS OBSERVADAS EN LOS LIBROS DE NAVEGACIÓN ESPAÑOLES EN LA EDAD MODERNA

The corrections to the heights observed in the Spanish navigation books  
in the Modern Age

GABRIEL PINTOS AMENGUAL  
Investigador independiente  
ORCID: 0000-0001-9262-9786

## ***Resumen***

En la Edad Moderna, en España, se pasó de la navegación astronómica a la navegación astronómica científica. En este tránsito intervinieron muchos indicadores, entre ellos las correcciones a las alturas observadas, contribuyendo a una mayor exactitud en la situación observada. Debido a la existencia de diversas corrientes sobre la inclusión de las correcciones en los textos de navegación hemos realizado un análisis exploratorio de estos, lo que nos ha permitido determinar con claridad el primer texto en el que fueron incluidas, así como cuáles fueron las correcciones tenidas en cuenta, en cada caso, a través del tiempo.

## ***Abstract***

In the Modern Age, in Spain, there was a swap from celestial navigation to scientific celestial navigation. In that period, there were many calculation parameters discussed, among them, the corrections to the observed heights, which was going to imply a major contribution to the accuracy of the ship's actual situation. Due to the existence of different views about considering or not such adjustments in the various navigation papers examined, we have carried out a study to determine which was the first paper they were included, as well as, which were finally the adjustments implemented on each calculation type and its timing.

*Palabras clave:* Navegación astronómica, Correcciones a las alturas observadas, Textos de navegación, Pilotos, Enseñanza náutica.

*Key words:* Celestial navigation, Corrections to the observed heights, Navigation papers, Pilots, Nautical education.

*Recibido:* 29/08/2022 – *Aceptado:* 11/08/2023  
<https://doi.org/10.47101/llull.2023.46.92.Pintos>

## 1. INTRODUCCIÓN

La navegación oceánica se fundamentó en la ciencia del momento, transmitida a los pilotos, al principio, en forma de reglas nemotécnicas que eran memorizadas, esta rudimentaria formación les facilitó navegar de punto a punto por altura y distancia.

El progreso de la ciencia y la técnica posibilitó el paso de la navegación astronómica a la navegación astronómica científica, este tránsito no se dio de forma instantánea, sino debido a la acumulación de conocimientos aplicados a la navegación como la trigonometría esférica, las correcciones a las alturas observadas, la aplicación de los logaritmos o de inventos que se crearon ex profeso para la navegación como el octante o el cronómetro marino, elementos que se fueron incluyendo de forma paulatina, tanto en la formación de los pilotos como en los textos de pilotaje y aun así no se hizo de forma uniforme [PINTOS, 2021, p. 188-189].

De los indicadores enumerados, el cálculo de la altura del astro ( $a$ ) es fundamental para la determinación de la posición del buque en la mar por métodos astronómicos, por lo que es necesario que esta tenga la máxima precisión, ya que el error de observación repercute directamente en su exactitud, sobre todo cuando se trata del cálculo de la latitud observada ( $l_o$ ) a la hora de la meridiana, en el que las variables que intervienen son la distancia zenital ( $90-a$ ) y la declinación del astro ( $d$ ) [COTTER, 1968, p. 137-140].

Las alturas de los astros están referidas al horizonte visible (véase figura 1), por lo que 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 siguientes correcciones: paralaje, refracción astronómica, depresión del horizonte y semi-diámetro (caso de Sol y Luna). Así, el paso de la altura instrumental a verdadera requiere la aplicación de la fórmula:

$$Av = Ai + Ci - Da \pm Sa - R + p ; \text{ en notación actual}^1$$

Desestimar las correcciones a las alturas observadas junto a la inexactitud de las tablas de declinación del Sol, causaron múltiples errores en el cálculo de la latitud observada por meridiana del Sol.

1. En donde:

$Ai$  = Lectura del instrumento

$Ci$  = Corrección de índice

$Ao$  = Altura observada

$Da$  = depresión del horizonte

$Sa$  = emidiámetro en altura

$R$  = Refracción astronómica

$p$  = Paralaje en altura

$A''a$  = Altura aparente limbo inferior o superior sin corregir por refracción

$A'a$  = Altura aparente central sin corregir de refracción

$Aa$  = Altura aparente central

$Av$  = Altura verdadera



manuales de navegación españoles de la Edad Moderna, tratamos de determinar a partir de cuándo se empezaron a incluir las correcciones a las alturas observadas.

En consecuencia, tenemos en cuenta los diferentes criterios existentes: los que mantienen que en el siglo XVII se introdujeron las correcciones a las alturas observadas en los manuales de navegación [GARCÍA FRANCO, vol. 1. p. 184; IBÁÑEZ, 2000, p. 88; SUAY, 2000, p. 201]; los que achacan al tratado de Joseph García Sevillano de 1736, el primero en ocuparse de las correcciones a las alturas observadas [SELLÉS, 2000, p. 68; PINTOS, 2021, p. 147]; el que en los textos de pilotaje utilizados en la formación de los pilotos no se tuvieron en cuenta las correcciones hasta que las incluyó Pedro Manuel Cedillo en el *Tratado de Cosmografía y Náutica* de 1745 [PINTOS, 2021, p. 171]; la que sostiene que Blas Moreno y Zabala en *Práctica de la navegación* de 1732, ya aplicaba las correcciones a las alturas observadas [IGLESIAS, 2000, p. 322].

La confusión originada por los datos contradictorios expuestos, justifican la investigación de los textos de navegación españoles de la Edad Moderna con el objetivo general de identificar el momento en que estos incorporaron las correcciones a las alturas observadas. Para alcanzar el objetivo general planteamos los siguientes objetivos específicos:

- OE 1: Analizar los manuales de navegación españoles del XVI al XVIII.
- OE 2: Contrastar los diferentes criterios existentes sobre la incorporación de las correcciones.
- OE 3: Determinar el manual a partir del cual se normalizó la inclusión de las correcciones en los textos.

En consecuencia procede ampliar la línea de investigación seguida por Pintos [2021] sobre la transición a la navegación astronómica científica, en lo que respecta a los textos de navegación españoles, desde un punto de vista alejado de cómo fueron tratados estos fenómenos físicos en los manuales de navegación y de cómo afectaron a la precisión en la situación del buque en la mar, si no desde el instante en que fueron incluidos en los manuales de navegación españoles, como se ha comentado anteriormente.

## 2. METODOLOGÍA

En este trabajo abordamos la evolución histórica del tratamiento de las correcciones a aplicar a las alturas observadas en los libros de navegación editados en España entre 1500 y 1800, con el propósito de establecer el momento en el que estos las incluyeron en su contenido.

El tipo de investigación seguido ha sido exploratoria cualitativa, según el método histórico, lo que nos ha permitido reunir evidencias de hechos ocurridos, hacer una aproximación histórica del problema a tratar y fijar su dimensión histórica. A tal efecto se ha realizado el proceso en cada una de sus fases: la heurística, la crítica, la hermenéutica y la exposición [RUIZ, 1976, 449-450].

La selección de textos se ha confeccionado a partir de la lista de obras de náutica editados en España entre los siglos XVI-XVIII establecida por Pintos [2021, p. 621-641].

En base a la información obtenida hemos seleccionado los textos, excluyendo aquellos que pertenecen al género de las enciclopedias, que tratan sobre Cosmografía y/o Navegación:

- FERNÁNDEZ DE ENCISO, Martín (1519). *Suma de geographia* [...].
- FALEIRO, Francisco (1535). *Tratado del esfera y del arte del navegar* [...].
- CHAVES, Jerónimo de (1545). *Tractado de la sphaera* [...].
- MEDINA, Pedro de (1545). *Arte de navegar* [...].
- CORTÉS, Martín (1551). *Breve compendio de la fphaera* [...].
- MEDINA, Pedro de (1552). *Regimiento de navegacion* [...].
- CHAVES, Jerónimo de (1566). *Chronographia o repertorio de los tiempos* [...].
- ZAMORANO, Rodrigo (1581). *Compendio de la Arte de Navegar* [...].
- POZA, Andrés de (1585). *Hidrografia* [...].
- GARCÍA DE PALACIO, Diego (1587). *Instrucción Nauthica*, [...].
- SYRIA, Pedro de (1602). *Arte de la verdadera Navegación*.
- GARCÍA DE CÉSPEDES, Andrés (1606). *Regimiento de navegacion* [...].
- FERRER MALDONADO, Lorenzo (1626). *Imagen del mundo sobre la esfera*, [...].
- NÁJERA, Antonio de (1628). *Navegacion especulativa y práctica*.
- PORTER Y CASANATE, Pedro (1634). *Reparos a errores en la navegacion*.
- FLORES, Lázaro de (1673). *Arte de navegar*. [...].
- GAZTAÑETA YTURRIVALZAGA, Antonio de (1692). *Norte de la navegacion* [...].
- CEDILLO Y RUJAQUE, Pedro Manuel (1717). *Compendio de la Arte de Navegar*.
- CLARIANA Y GUALBES, Antonio de (1731). *Resumen nautico* [...].
- MORENO Y ZABALA, Blas (1732). *Practica de la navegacion*, [...].
- GONZÁLEZ CABRERA BUENO, José (1734). *Navegacion especulativa, y practica*, [...].
- SERRANO, Gonzalo Antonio (1735). *Astronomia Universal Theorica, y Practica*, [...].
- GARCÍA SEVILLANO, José (1736). *Nuevo Regimen de la Navegacion*.
- ARIAS MIRAVETE, José (1739). *La mas preciosa margarita del oceano*, [...].
- GONZÁLEZ DE URUEÑA, Juan (1740). *Delineacion en lo tocante al conocimiento del punto de longitud del Globo de tierra* [...].
- CEDILLO Y RUJAQUE, Pedro Manuel (1745). *Tratado de la Cosmographia y Nautica*.
- ARIAS MIRAVETE, José (1748). *Náutica disciplina*. [...].
- SÁNCHEZ RECIENTE, Juan (1749). *Tratado de navegacion y theorica, y practica* [...].
- ARCHER, Miguel (1756). *Lecciones náuticas*, [...].
- JUAN Y SANTACILIA, Jorge (1757). *Compendio de Navegación* [...].
- BARREDA Y ACEVEDO, Francisco (1765). *El marinero instruido* [...].
- PORRAS, José Ignacio (1765). *Nautica laconica*, [...].
- QUIROGA, José (1784). *Tratado de el arte verdadero de navegar pro circulo paralelo a la equinocial* [...].
- LÓPEZ, Tomás (1786). *Cosmografia abreviada: uso del globo celeste y del terrestre*.
- MENDOZA Y RIOS, José (1787). *Tratado de navegacion*.
- MAZARREDO SALAZAR, José (1790). *Lecciones de navegacion* [...].
- ALCALÁ GALIANO, Dionisio (1795). *Memoria sobre el cálculo de la latitud* [...].
- MENDOZA Y RIOS, José (1795). *Memoria sobre algunos metodos nuevos de calcular la longitud por las distancias* [...].

ALCALÁ GALLIANO, Dionisio (1796). *Memoria sobre las observaciones de Latitud y Longitud en el mar*.

CISCAR Y CISCAR, Gabriel (1796). *Tratado de cosmografía, [...]*.

LÓPEZ-ROYO, Francisco (1798). *Memoria sobre los métodos de hallar la longitud en el mar por las observaciones lunares*.

En lo que se refiere a las fuentes documentales hemos trabajado siempre con originales, lo que nos ha evitado realizar comprobaciones y comparaciones para certificarlos. En cuanto a los textos se ha verificado que no estuviesen dañados ni le faltasen hojas, las transcripciones se han realizado literalmente respetando su contenido, en cuanto han surgido dudas por la grafía empleada en el documento, se han resuelto mediante la comparación con otras transcripciones localizadas respetando su literalidad y su sentido.

La técnica de análisis empleada se ha realizado de acuerdo con la metodología confeccionada ex profeso para los textos de náutica establecida por Ibáñez y Llobart [2001] en la que tiene en cuenta los aspectos generales, los contenidos concretos y la adecuación de los textos a la docencia. De las tres fases establecidas, al no ser necesaria la evaluación de los textos hemos tenido en cuenta la correspondiente a los contenidos concretos referidos al área temática de las correcciones a las alturas observadas.

### 3. RESULTADOS

El análisis sobre la inclusión en los textos de las correcciones a las alturas observadas, se ha realizado mediante un criterio de valoración cualitativo siguiendo a Bernard Mainar [citado por IBÁÑEZ, LLOMBART & LOUZÁN, 2002, p.68] que considera innecesario analizar todo el contenido del texto para conseguir una idea del mismo.

En este sentido, hemos trabajado con cuarenta y un textos de navegación, entre los cuales, los dieciocho primeros no aplican las correcciones a las alturas observadas, constituyendo el *Regimiento de Navegación* de Andrés García de Céspedes un paréntesis, por ser el primer texto náutico donde aparecen los términos refracción y paralaje, sin embargo, no los aplica. Al citar el error en que se puede incurrir al tomar la altura del Polo, aunque muy pequeño, por no tener en cuenta “la diversidad de aspecto”, fenómeno conocido como la paralaje, no adentrándose en sus fundamentos pretextando los escasos conocimientos matemáticos de los pilotos de la época, por ser “[...] mucho el embaraço para Pilotos, la dexo para los Matematicos.” [GARCÍA DE CÉSPEDES, 1606, fol. 8R]. Mientras que, en el último capítulo del *Regimiento* se ocupa en demostrar la inexistencia de la refracción de los rayos del Sol, a partir de una observación que realizó el 20 de diciembre de 1602, en la que tomó la altura del Sol con  $09^{\circ} 52'$ , a la que después de aplicar la corrección por paralaje que resultó ser  $02' 54''$ , obtuvo una altura verdadera del Sol de  $09^{\circ} 54' 54''$ , tomando a continuación la vertical del Sol con  $45^{\circ} 40'$  y mediante tablas calculó la declinación del Sol dándole un valor de  $23^{\circ} 27' 30''$ . Tomando como datos la vertical, la declinación del Sol y latitud del lugar procedió a calcular la altura verdadera del Sol, para verificar si existía refracción o no, la altura calculada por formulas trigonométricas dio  $09^{\circ} 54' 23''$ , dando una diferencia de  $31''$ , por lo que concluyó que no

era cierto que los rayos del Sol causasen refracción y que las observaciones realizadas por Cristoforo Rothmano y Tycho Brahe a la misma estrella de la Osa Mayor y a la misma altura de 03° sobre el horizonte, dándoles una refracción de 09'20'' y 28' respectivamente, estaban equivocadas [GARCÍA DE CÉSPEDES, 1606, p. 8R, 113V-114R].

Siguiendo la estela de García de Céspedes, varios autores también enumeran los errores que se cometen al calcular la latitud observada, aunque tampoco aplican las correcciones.

Antonio de Nájera menciona los valores calculados de la máxima declinación desde Ptolomeo, a Tycho Brahe reprendiendo a Copérnico, por no tener en cuenta el valor de la refracción al calcularla [NÁJERA, 1628, p. 10R-13R].

Por otro lado, Pedro Porter al adentrarse en los errores en los que incurren los pilotos, se refiere al causado, por lo que denomina “la variedad del horizonte”, al tomar las alturas de los astros y que los pilotos para resolverlo quitan por fantasía este incremento. Para calcularlo propone un procedimiento, conociendo la latitud observada al mediodía por meridiana de Sol, a la que le suma o resta los grados en función de la posición de las guardas, la altura resultante será a la que tiene que estar la Polar y la diferencia se la atribuye a la Luna que hace el horizonte mayor. Recomienda hacer un registro de la elevación de la Luna y de los días que tiene, con lo que se podrán hacer reglas más exactas que las empleadas por los pilotos. El mismo procedimiento puede hacerse para el Sol teniendo en cuenta la latitud por la Polar, en ese caso, el autor, debe referirse a los falsos horizontes generados por la luna durante la noche y por un Sol próximo al horizonte durante el día, en ambos casos, parece que el horizonte de la mar está más bajo que lo que lo está en realidad y por eso, las alturas observadas son mayores de lo que debieran [PORTER, 1634, p. 52-56].

Lázaro de Flores señala los errores que pueden afectar en el cálculo de la latitud observada derivados de la inexactitud de la tablas de la declinación de Sol y las estrellas, los cometidos por el observador, así como por el instrumento de tomar alturas, que sumados pueden constituir un error considerable. En el procedimiento del cálculo de la declinación del Sol explica que hay que corregir su altura por refracción y por paralaje, pero no las aplica en el cálculo de la latitud por altura meridiana, ni adjunta tablas para su determinación [FLORES, 1673, p. 20, 29, 166, 291].

El padre Zaragoza, autor referenciado por la mayoría de tratadistas de textos náuticos de la época, en 1675 en la *Esphera [...]* afirmaba la imposibilidad de realizar ninguna observación de los astros, de provecho, sin tener en cuenta la corrección por paralaje y refracción, soportado por un amplio estudio de ambos fenómenos, complementado por figuras y tablas. Las correspondientes a la paralaje del Sol y Luna extraídas de Lansbergio, las de refracción de Ricciolo, pero no incluía las correcciones por semidiámetro de Sol y Luna ni las debidas a la elevación del observador [ZARAGOZA, 1675, p. 102-112, 115, 144-148].

Transcurridos 56 años de la edición de la *Esphera [...]*, Antonio de Clariana y Gualbes, en su texto, después de explicar los distintos métodos para calcular la latitud, se adentra en las correcciones, y prevenciones que hay que tomar para su cálculo, incluye las correcciones por refracción, elevación del observador y por semidiámetro del Sol, para lo cual adjunta tablas

para los dos primeras y establece el valor a aplicar por la última y su signo, con lo que se constituye en el primer manual de navegación español que tiene en cuenta las correcciones, aunque desprecia la paralaje, corriente que seguirán una buena parte de los tratadistas estudiados [CLARIANA Y GUALBES, 1731, p. 307, 489-499].

A partir de ahí, también incluyen las correcciones a las alturas observadas (ver tabla 1) autores como: Blas Moreno y Zabala, al tratar los instrumentos para observar la latitud, aunque no entra en su fundamento ni en explicaciones teóricas limitándose a enumerarlas y a enseñar el manejo de las tablas, que adjunta, para la aplicación a la altura observada de la refracción, elevación del observador y semidiámetro [MORENO Y ZABALA, 1732, p. 4-6, 59-62]; Gonzalo Antonio Serrano explica el procedimiento para tomar la altura del Sol y aplica las correcciones por paralaje y refracción, así como el procedimiento para calcular el semidiámetro del Sol para aplicarlo a la altura [SERRANO, 1735, p. 236-237]; José García Sevillano al final de la parte del texto que denomina *Nuevo Régimen de la Navegación* incluye las tablas para calcular la paralaje, la reflexión y el semidiámetro del Sol, pero es en el apartado denominado Reglas Astronómicas que deben saber los Pilotos para ser buenos náuticos, donde a continuación de la explicación de los instrumentos de tomar alturas introduce al lector en los conceptos teóricos y el manejo de las tablas de las correcciones mencionadas, sin incluir ejemplos [GARCÍA SEVILLANO, 1736, p. 121-129, 168-175].

Entre tanto, José Arias Miravete (1739, 1748) publicó dos libros, que por el despropósito que contenían, plagados de atrevidas sinrazones merecieron la siguiente consideración:

sin haber saludado siquiera ni los elementos de Euclides, pretendió hacer valer el hallazgo de un planisferio que decía suyo. Sin necesidad de cartas hidrográficas, ni instrumentos de los usuales, de que abominaba con el mas alto desprecio, queria reformar las prácticas todas de la navegacion, y dirigir con rumbos certeros las naves [VARGAS PONCE, 1808, p. 122].

A partir de 1745, con la publicación del *Tratado de Cosmographia* [...] de Pedro Manuel Cedillo, a excepción del de Sánchez Reciente (1748), se normalizó la inclusión de las correcciones en los textos náuticos, aunque se aplicaron con diversos criterios hasta 1787 que los tratadistas ya aplicaron las cuatro correcciones.

Pedro Manuel Cedillo, en el capítulo III del libro segundo, bajo el epígrafe de los yerros de las observaciones y de las reglas del Sol y estrellas explica en 5 páginas, 2 figuras y 2 tablas las correcciones a aplicar, en las que hace diferencia entre las que son comunes a todas, como la paralaje y la refracción y otras que considera propias a la navegación debido a la elevación del observador sobre la superficie de la mar y la de observar el Sol de espaldas a él. Aunque describe la paralaje, influenciado por los astrónomos más modernos no la incluye al considerarla insensible [CEDILLO, 1745, p.130- 34].

Juan Sánchez Reciente al tratar sobre los usos de la ballestilla cuando llega al momento de explicar el valor de la altura observada del Sol, anota que hay que añadir 15' a la observación obtenida con el instrumento para convertirla en verdadera. A pesar de conocer las correcciones que se deben aplicar a la altura observada para convertirla en verdadera, la única que aplica es por semidiámetro del Sol [SÁNCHEZ RECIENTE, 1749, p. 181-182].



Tabla 1. Evolución de la aplicación de las correcciones a las alturas observadas.

Año	Autor	Correcciones			
		Paralaje	Refracción	Semidiámetro	El. Observa
1731	Clariana y Gualbes, Antonio		x	x	x
1732	Moreno Y Zabala, Blas		x	x	x
1735	Serrano, Gonzalo Antonio	x	x	x	
1736	García Sevillano, José	x	x	x	
1745	Cedillo, Pedro Manuel		x	x	x
1749	Sánchez Reciente, Juan			x	
1756	Archer, Miguel		x	x	x
1757	Juan, Jorge		x	x	x
1765	Barreda Acevedo, Francisco		x	x	x
1787	Mendoza i Ríos, José	x	x	x	x
1790	Mazarredo Salazar, José	x	x	x	x
1796	Alcalá Galiano, Dionisio	x	x	x	x
1796	Ciscar i Ciscar, Gabriel	x	x	x	x
1798	López- Royo, Francisco	x	x	x	x

Fuente: elaboración propia.

Miguel Archer se adentra en la explicación de las correcciones a la altura observada después de haber explicado los instrumentos de tomar alturas. En la lección decimoquinta a través de 6 páginas en las que incluye 2 figuras, 2 tablas y 2 ejemplos trata de forma breve y ordenada sobre las correcciones por refracción, paralaje, depresión del horizonte y semidiámetro del Sol. Finaliza el capítulo referente a las correcciones explicando la forma de tomar la altura del Sol con el cuadrante inglés y con el octante para evitar tener que hacer la corrección por semidiámetro [ARCHER, 1756, p.133-138].

Jorge Juan bajo el título de las correcciones que se deben hacer en las observaciones de los astros, en los apartados del 298 al 309 en 6 páginas, 2 figuras y 2 tablas trata sobre las correcciones por: semidiámetro del Sol, refracción terrestre, depresión del horizonte y paralaje a la que considera insensible para las operaciones náuticas. Aunque no incluye ejemplos específicos sobre correcciones, en el apartado 309 propone y resuelve un ejemplo del cálculo de la latitud por altura meridiana del Sol, en el que aplica las correcciones a la altura observada [JUAN, 1757, p.169-174].

Francisco Barreda no les dedica ningún epígrafe a las correcciones a aplicar a la altura observada. En el capítulo III de la parte II, en el apartado de lo perteneciente al término de la latitud menciona la corrección por semidiámetro y su valor  $16'$ , realiza un breve comentario sobre las correcciones a aplicar por refracción astronómica y por depresión del horizonte de

las cuales incluye tablas para su cálculo que coinciden con las de Cedillo (1745) [BARREDA, 1765, p. 183-184].

Tomás López al realizar el cálculo de la latitud observada no aplica las correcciones, aunque si trata sobre la refracción y el paralaje en los epígrafes correspondientes mediante demostraciones y figuras [LÓPEZ, 1786, p. 33-35, 35-37, 356-359].

José Mendoza en el apartado correspondiente a las correcciones de las alturas tomadas con los cuadrantes de reflexión explica, apoyado en figuras, las correcciones por refracción, semidiámetro del Sol, elevación del observador y paralaje [MENDOZA, 1787, vol. 2, p. 270-275], sin embargo, en la *Memoria sobre algunos métodos nuevos de calcular la longitud [...]* prescinde de la corrección por depresión del horizonte [MENDOZA, 1795].

José Mazarredo en el epígrafe correspondiente a las correcciones que deben hacerse en las alturas de los astros explica apoyándose en figuras las de refracción, semidiámetro del Sol, elevación del observador y paralaje [MAZARREDO, 1790, p. 108-116].

Dionisio Alcalá Galiano en *Memoria del cálculo de la latitud [...]* realiza un estudio teórico sobre los procedimientos para calcular esta coordenada terrestre, en el que expone los fundamentos de su teoría, a continuación explica el método de Douwes de acuerdo con la teoría de Mendoza al que añade sus reflexiones, finalizando con la comparación de los dos métodos, pero no realiza ejercicios que requieran la aplicación de las correcciones [ALCALÁ GALIANO, 1795]. Mientras, en su obra *Memoria sobre las observaciones de latitud y longitud en el mar*, aborda de forma práctica los métodos para calcular estas dos coordenadas geográficas por considerar que su anterior publicación no estaba al alcance de todos, al inicio de la obra enumera las cuatro correcciones que se deben aplicar a las alturas observadas sin entrar en sus fundamentos [ALCALÁ GALIANO, 1796].

Gabriel Ciscar aplica las correcciones por refracción, semidiámetro del Sol, elevación del observador y paralaje [CISCAR Y CISCAR, 1796, p. 94-99].

Francisco López-Royo también aplica las correcciones por refracción, semidiámetro del Sol, elevación del observador y paralaje, explicando su fundamento mediante demostraciones apoyándose en figuras [LÓPEZ-ROYO, 1798].

#### 4. CONCLUSIONES

A pesar de ser conocidas, desde la antigüedad, las correcciones a aplicar a las alturas observadas para convertirlas en verdaderas, del análisis realizado a los textos náuticos se desprende que estas no se incluyeron en los libros de navegación del siglo XVI y XVII, aunque José Zaragoza, uno de los autores de matemáticas más destacados de su época y de referencia para los tratadistas de temas náuticos y cosmográficos, ya las incluía en su obra de 1675. En un principio, los tratadistas de textos náuticos las ignoraron, incluso Andrés García de Céspedes, en el *Regimiento*, presentó cálculos tendentes a demostrar que la refracción astronómica no existía. El primer texto español de navegación que hemos constatado que incluye las correcciones por refracción, semidiámetro y elevación del observador, es el de Antonio Clariana y

Gualbes [1731], deshaciendo la corriente que mantiene al de José García Sevillano [1736], mientras que, si se puede mantener que el primer texto dedicado a la enseñanza de la navegación que contó con ellas fue el de Pedro Manuel Cedillo [1745] y además constituyó la normalización de su inclusión en los libros de navegación. Por otra parte, la introducción de las correcciones en los textos de navegación fue desigual, al no considerar todos los autores las mismas correcciones a aplicar a las alturas observadas.

## FUENTES IMPRESAS

- ALCALÁ GALIANO, Dionisio (1795). *Memoria sobre el cálculo de la latitud del lugar por dos alturas del Sol*. Madrid, en casa de Ibarra.
- ALCALÁ GALIANO, Dionisio (1796). *Memoria sobre las observaciones de Latitud y Longitud en el mar*. Madrid, en la imprenta de Joachin Ibarra.
- ARCHER, Miguel (1756). *Lecciones náuticas, explicadas en el Museo Mathematico de el M.N. y M.L. Señorío de Vizcaya, Noble Villa de Bilbao*. Bilbao, Antonio de Eguzquisa Impresor de dicho M.N. y M.L. Señorío.
- ARIAS MIRAVETE, José (1739). La mas preciosa margarita del oceano, en cuyo fondo brilla à gyro un fixo punto; Union del Instituto Cofmografico; Perla Verdadera, Que identifica el de una fcientifica Nautica, que manifiesta el ufo practico de la Bruxula, hafta oy mal entendida.Y la insigne chimera de la dicha Bruxula en la Cartafobre linea paralela: delineacion repugnante, à la que con toda natural verdad constituye la Bruxula. Madrid, por Antonio Marin.
- ARIAS MIRAVETE, José (1748). *Náutica disciplina. Plantea la navegacion del océano por su ancho golfo en seis lecciones, que dedica a los que la enseñan*. Murcia, Felipe Díaz Cayuela.
- BARREDA Y ACEVEDO, Francisco (1765). *El marinero instruido en el arte de navegacion especulativo, y practico, según se enseña en el Real Seminario del Sr. San Telmo de Sevilla*. Sevilla.
- CEDILLO Y RUJAQUE, Pedro Manuel (1717). *Compendio de la Arte de Navegar*. Sevilla, Lucas Martín de Hermosilla, Impresos, y Mercader de libros en Calle Genova.
- CEDILLO Y RUJAQUE, Pedro Manuel (1745). *Tratado de la Cosmographia y Nautica*. Cádiz, Miguel Gomez Guiraun.
- CHAVES, Jerónimo de (1545). *Chronographia o repertorio de los tiempos, el más copioso y preciso que hasta ahora ha salido a luz / compuesto por Hieronymo de Chaves*. Sevilla, en casa de Joan Gutierrez.
- CHAVES, Jerónimo de (1566). *Tractado de la sphaera que compuso el doctor Ioannes de Sacrobusto con muchas additiones; agora nueuamente traduzido de latín en lengua castellana por el bachiller Hieronymo de Chaves. El cual añadio muchas figuras tablas y claras demostraciones: junctamente con unos breves Sholios neceffarios a mayor illucidation, ornato y perfection dl dicho tratado*. Sevilla, en casa de Juan de León.
- CISCAR Y CISCAR, Gabriel (1796). *Tratado de cosmografia, para la instruccion de los guardias marinas*. Cartagena, en la Oficina de Marina de este Departamento.
- CLARIANA Y GUALBES, Antonio de (1731). *Resumen nautico de lo que se practica en el teatro naval, ó Representacion succincta del arte de marina*. Barcelona, en la imprenta de Iuan Piferer.
- CORTÉS, Martín (1551). *Breve compendio de la sphaera y de la arte de navegar / con nuevos infrumentos y reglas/ ejemplificado con muy subtiles demostraciones: compuesto por Martin Cortes natural de burjalaroz en el reyno de Aragon y de prefente vezino de la ciudad de cadiz: dirigido al invictiffmo Monarcha carlo Quinto Rey de las Eſpañas etc. Señor Nuestro*. Sevilla, en Casa de Antonio Álvarez.
- FALEIRO, Francisco (1535). *Tratado del esfera y del arte del navegar: con el regimiento de las alturas: con algunas reglas nuevamente escritas muy necesarias*. Sevilla, Joan Cromberger.

- FERNÁNDEZ DE ENCISO, Martín (1519). *Suma de geographia que trata de todas las partidas et provincias del mundo, en especial de las Indias, et trata largamente del arte del marear, juntamente con la espera en romance, con el regimiento del sol et del norte*. Sevilla, Jacobo Cromberger.
- FERRER MALDONADO, Lorenzo (1626). *Imagen del mundo sobre la esfera, Cosmografía, y Geografía, Teórica de Planetas, y arte de navegar*. Alcalá, Juan García y Antonio Duplastre.
- FLORES, Lázaro de (1673). *Arte de navegar. Navegacion astronomica. Theorica, y Practica. En la cual se contienen tablas nuevas de las declinaciones de el Sol, computadas al Meridiano de la Havana. Traense nuevas declinaciones de Eftrella, y instrumento nuevos*. Madrid, por Julian Paredes.
- GARCÍA DE CÉSPEDES, Andrés (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, en casa de Iuan de la Cuesta.
- GARCÍA DE PALACIO, Diego (1587). *Instrucción Nauthica, para el buen Ufo, y regimiento de las Naos, fu traça, y gobierno conforme à la altura de Mexico, y compuesta por el Doctor garcia de Palacio, del conjejo de su Mageftiad, y fu Oydor en la Real audiencia de la dicha Ciudad*. Mexico, en casa de Pedro Ocharte.
- GARCÍA SEVILLANO, José (1736). *Nuevo Regimen de la Navegacion*. Madrid, Joaquin Sanchez.
- GAZTAÑETA YTURRIVALZAGA, Antonio de (1692). *Norte de la navegacion hallado por el quadrante de reduccion*. Sevilla, Juan Francisco de Blas.
- GONZÁLEZ CABRERA BUENO, José (1734). *Navegacion especulativa, y practica, con la explicacion de algunos instrumentos, que estan mas en uso en los Navegantes, con las Reglas necesarias para fu verdadero ufo, Tabla de las declinaciones del Sol, computadas al Meridiano de San Bernardino; el modo de navegar por la Geometria; por las Tablas de Rumbos; por la Arithmetica, por la Trigonometria; por el Quadrante de Reduccion; por los Senos Logarithmos; y comunes; con las Eftampas, y Figuras pertenecientes à lo dicho, y otros Tratados curiosos*. Manila. En el Convento de Nuefra Señora de los Angeles de la Orden de Nro. Seraphico Padre San Francifco.
- GONZÁLEZ DE URUEÑA, Juan (1740). *Delineacion en lo tocante al conocimiento del punto de longitud del Globo de tierra y agua y de la causa de los crecientes y menguantes del mar*. Madrid. Diego Miguel de Peralta.
- JUAN Y SANTACILIA, Jorge (1757). *Compendio de Navegación para el uso de los cavalleros Guardias-Marinas*. Cádiz, en la Academia de los mismos Cavalleros.
- LÓPEZ, Tomás (1786). *Cosmografía abreviada: uso del globo celeste y del terrestre*. Madrid, por la Viuda de Ibarra, Hijos y Compañía.
- LÓPEZ-ROYO, Francisco (1798). *Memoria sobre los métodos de hallar la longitud en el mar por las observaciones lunares*. Madrid, Imprenta Real por don Pedro pereyra, Impresor de Cámara de S.M.
- MAZARREDO SALAZAR, José (1790). *Lecciones de navegacion para el uso de las compañías de guardias marinas*. Isla de Leon. Imprenta de su Academia.
- MEDINA, Pedro de (1545). *Arte de navegar en que fe contienen todas las Reglas, Declaraciones, Secretos, y Avisos, q a la buena navegacion fon necessarios, y fe deven faber, hecha por el maestro Pedro de medina. Dirigida al fereniffimo y muy eflarefcido fe*. Edición faccimit 2005. Valladolid, en el taller de Francisco Fernández de Córdoba.
- MEDINA, Pedro de (1552). *Regimiento de navegacion En que fe contienen reglas, declaciones y avisos del arte de nauegar, Fecho por el maestro Pedro de Medina, vezino de Sevilla*. Sevilla, Juan Canalla.
- MENDOZA Y RÍOS, José (1787). *Tratado de navegacion*. 2 volúmenes. Madrid, Imprenta Real.
- MENDOZA Y RÍOS, José (1795). *Memoria sobre algunos metodos nuevos de calcular la longitud por las distancias lunares y aplicacion de su teorica a la solucion de otros problemas de navegacion*. Madrid, Imprenta Real.

- MORENO Y ZABALA, Blas (1732). *Practica de la navegacion, uso, y conocimiento de los instrumentos mas precisos en ella con las reglas. Para saber si estan bien contruidos. Modo de saber hazer la derrota y las circunstancias que en ella le necepsitan. Asimismo toda la mayor parte de las Derrotas, que defde Cadiz fe hacen a los Puertos de la America, con las noticias de la calidad, y cantidad de los fondos de la mayor parte de las fondas de dicha America; y por ellas el conocimiento de algunos parages: como tambien diferentes prevenciones para conducirse à la Practica en este Arte.* Madrid, en la imprenta de Manuel Romàn.
- NÁJERA, Antonio de (1628). *Navegacion especulativa y práctica.* Lisboa, Pedro Craesbeeck.
- PORTER Y CASANATE, Pedro (1634). *Reparos a errores en la navegacion.* Zaragoza, por María de la Torre.
- PORRAS, José Ignacio (1765). *Nautica laconica, o Regimen de hallar la longitud en el mar por los rumbos, y variacion de la aguja discurrido, y puesto en orden por Don Joseph Ignacio de Porras, natural de la ciudad de Malaga.* Madrid, en la oficina de Miguèl Escrivano.
- POZA, Andrés de (1585). *Hidrografia la mas curiosa que hasta aqui ha falido ha luz, en que demás de un derrotero general, fe enfeña la navegacion por altura y derrota, la del Efte Oefte: con la Graduacion delos puertos, y la navegacion al Catayo por cinco vias diferentes.* Bilbao, Mathias Mares.
- QUIROGA, José (1784). *Tratado de el arte verdadero de navegar pro circulo paralelo a la equinocial; que para utilidad de la Marina Española da a la luz publica D. Manuel Mendez Quiroga ; con dos figuras mathe-maticas i un tratadillo al fin sobre la aguja de marear.* Bolonia, en la casa de Santo Thomas de Aquino.
- SÁNCHEZ RECIENTE, Juan (1749). *Tratado de navegacion y theorica, y practica fegun el orden, y Methodo, con que fe enfeña en el Real Colegio Seminario de Sr. S. Telmo, extramuros de la Ciudad de Sevilla.* Sevilla, Imprenta Castellana.
- SERRANO, Gonzalo Antonio (1735). *Astronomia Universal Theorica, y Practica, conforme a la doctrina de antiguos, y modernos Aftronomos, con Methodo facil, y muy claros exemplos, para que los aficionados à tan fumible Ciencia la pueda faber fin voz viva de Maefro, y juntamente otros affumptos muy curiosos de Chronologia Aftronomica, y computo Eclefiastico.* Cordoba, en la imprenta del autor.
- SYRIA, Pedro de (1602). *Arte de la verdadera Navegacion. En que fe trata de la machina del mundo, es a faber, Cielos, y Elementos: de las mareas, y señales de tempeftades: del Aguja de marear: del modo de hacer cartas de navegar: del ufo dellas: de la declinacion y rodeo, que comunmente hazenlos pilotos. del modo verdadero de navegar por circulo menor: por linea recta fin declinacion ni rodeo: el modo como fe fabra el camino, y leguas que ha navegado el piloto, por qualquier rumbo: y últimamente el faber tomar el altura del Polo.* Valencia, en casa de Juan Chrifoftomo Garriz.
- ZAMORANO, Rodrigo (1581). *Compendio de la Arte de Navegar de Rodrigo Çamorano, Afrologo y Mate-matico, y Cofmografo de la Mageftad Catolica de Don Felipe fegundo Rey de Epaña, y fu Catedratico de Cofmografia en la casa de las Indias y de la Ciudad de Sevuilla.* Sevilla, Alonso de la Barrera.
- ZARAGOZA Y VILANOVA, José de (1675). *Esfpera en común celeste y terráquea.* Madrid, por Juan Martín del Barrio.

## BIBLIOGRAFÍA

- COTTER, Charles H (1968). *A history of nautical astronomy.* London-Sydney-Toronto, Hollis y Carter.
- GARCÍA FRANCO, Salvador (1947). *Historia del arte y ciencia de navegar. Desenvolvimiento histórico de los cuatro términos de la navegacion.* Madrid, Instituto histórico de Marina, 2 Volúmenes.
- IBÁÑEZ FERNÁNDEZ, María del Mar (2000). *La difusion de conocimientos náuticos en la España decimo-nónica: La navegacion astronómica en los textos de náutica españoles del siglo XIX* [Tesis Doctoral]. Director: José Llombart, Bilbao, Universidad del País Vasco.
- IBÁÑEZ, Itsaso & LLOMBART, José. (2001). “La comparacion de textos en historia de la ciencia: Una propuesta metodológica”. *Llull. Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 24 (49): 131-148.

- IBÁÑEZ, Itsaso; LLOMBART, José & LOUZÁN, Felipe. (2002). “El primer tratado de náutica español del siglo XIX: Las lecciones de navegación (1801) de Dionisio Macarte y Díaz”. *EIM. Estudios de investigaciones marinas*, 2 (1): 59-95.
- IGLESIAS MARTÍN, María Asunción (2000). *Estudio comparativo desde el punto de vista matemático de textos náuticos españoles del siglo XVIII* [Tesis Doctoral]. Director: José Llombart, Leioa, Universidad del País Vasco.
- PINTOS AMENGUAL, Gabriel (2021). *La Transición a la navegación astronómica científica y la formación de los pilotos españoles, siglos XVI-XVIII* [Tesis Doctoral]. Directora: Itsaso Ibáñez Fernández, Bilbao, Universidad del País Vasco. [Consulta: 23/08/2022].
- RUIZ BERRIO, Julio (1976). El método histórico en la investigación histórica de la educación. *Revista española de pedagogía*. núm. 134. Recuperado de: <https://revistadepedagogia.org/xxxiv/no-134/el-metodo-historico-en-la-investigacion-historica-de-la-educacion/101400050957/>
- SELLÉS GARCÍA, Manuel (2000). *Navegación Astronómica en la España del Siglo XVIII*. Madrid, Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- SUAY ARTAL, Juan (2000). *Análisis pormenorizado de un problema crucial de geografía matemática: La determinación del punto* [Tesis Doctoral]. Director: Antonio Gil Olsina, Alicante, Universidad de Alicante. Recuperado de: [file:///C:/Users/gpintos/Downloads/Suay-Artal-Juan%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/gpintos/Downloads/Suay-Artal-Juan%20(3).pdf).
- URRUTIA Y DE LANDABURU, Ángel (s.f). *Apuntes de astronomía náutica y navegación*. Lección 22: Corrección a las alturas observadas. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/2099.4/1228>
- VARGAS PONCE, José (1808). *Varones ilustres de la marina española. Vida de Don Juan José Navarro, primer marqués de la Victoria*. Madrid, en la Imprenta Real.