

## Observaciones astronómicas y cálculos matemáticos en el viaje de Louis Feuillée a las Islas Canarias en 1724

JUAN ANTONIO GARCÍA CRUZ

*Resumen.* En 1724 Louis Feuillée fue enviado a las Islas Canarias por la Academia Real de Ciencias de Francia para, entre otros objetivos, determinar la verdadera posición del Primer Meridiano y del meridiano del Pico de Tenerife. Alcanzar, de forma satisfactoria, tales objetivos pasaba por aplicar los procedimientos canónicos establecidos por la Academia. Debido a circunstancias desfavorables, Louis Feuillée no pudo aplicar tales procedimientos para determinar la longitud geográfica de ambos meridianos y se vio abocado a utilizar procedimientos trigonométricos que involucran la forma y el tamaño de la Tierra. En este artículo presentamos un análisis de los datos y procedimientos de cálculo utilizados por Feuillée y otros miembros de la Academia, en especial lo expuesto por l'Abbé De La Caille en el *Extrait*. Exponemos varias razones por las que tardó tanto en darse noticia pública de la relación del viaje de Louis Feuillée. Entre ellas y, como la más importante, consideramos la posibilidad de que el debate sobre la forma y tamaño de la Tierra retrasara una decisión de la Academia sobre la publicación de los datos derivados del viaje de Louis Feuillée.

*Palabras clave:* Meridiano del Pico, Primer Meridiano, Tamaño y forma de la Tierra.

*Abstract.* In 1724 Louis Feuillée was sent to the Canary Islands in an expedition organized by the France Royal Academy of Science to establish the true positions of the First Meridian and the Peak's Meridian at Tenerife. In order to accomplish that mission, Louis Feuillée needs to apply the canonical procedures established by the Academy. Due to unfavourable circumstances he can not apply those procedures and have to use trigonometric methods which are strongly dependant on the shape and size of the Earth. In this paper we analyze the data and procedures used by Louis Feuillée and others members of the Academy, mainly by l'Abbé De

La Caille in his *Extrait*. We also outline some reasons why the public notice and data derived from the Feuillée's journey was not early published by the Academy. Perhaps one of the main reason were that at that time the Academy's debate on the size and shape of the Earth could have delayed the final decision to publish the relation derived from the Louis Feuillée's journey.

*Key words:* The Peak's Meridian, First Meridian, Shape and Size of the Earth.

## LOS OBJETIVOS

Durante más de un siglo de su existencia, la Academia Real de Ciencias de Francia envió varias expediciones científicas a diferentes partes de la Tierra, con el objeto de realizar observaciones astronómicas que permitieran la mejora de la navegación y la geografía. Una de estas expediciones fue el viaje que el padre Louis Feuillée realizó a las Islas Canarias en 1724. Louis Feuillée visitó las Islas Canarias entre el 23 de junio, fecha de su llegada a la Isla de Tenerife, y el 10 de octubre de 1724, fecha de su partida desde la misma isla. Su estancia en Tenerife fue interrumpida por un breve viaje a la Isla de El Hierro realizado entre el 10 y el 22 de agosto, con paradas en las islas de La Palma a la ida y en La Gomera a la vuelta.

A su regreso a Francia escribió una diario del viaje<sup>1</sup> que envió a la Academia y que nunca se publicó (Feuillée, [1724, Ms 38]). En la introducción al diario y, en diferentes lugares, se da cumplida cuenta de los objetivos del viaje. Se nos informa que por Orden Real emitida en Versalles el 22 de enero de 1724 se elige y ordena al padre Louis Feuillée para que se desplace a las Islas Canarias,

...fundamentalmente a la Isla de El Hierro, al efecto de que realice allí, siguiendo los informes de la Academia de Ciencias que le serán transmitidos por el señor abad Bignon, consejero de Estado ordinario, las observaciones necesarias en relación con la posición más exacta de los meridianos, lo que será muy ventajoso para perfeccionar la navegación y de mucha utilidad para todos los países (Feuillée, 2006: 438).

<sup>1</sup> Existen cuatro ejemplares del diario (Homet, 1982: 258). Para este trabajo he utilizado los citados en la bibliografía. El primer ejemplar corresponde con el manuscrito 38 (Ms 38) que aparece, en edición facsimilar y traducción española, en la obra *Pasión y Aventura en la Ciencia de las Luces*, Tomo II, A. Herrera Piqué (editor), Cabildo de Gran Canaria, 2006. La traducción de este manuscrito es obra de Dulce María González Doreste y Antonio Álvarez de la Rosa. Para el segundo manuscrito, Fr 12222, he utilizado una versión en micro filmína.

Antes de transcribir la orden real, el padre Feuillée ha aclarado de qué meridianos se trata:

... realizar allí observaciones que determinaran inmediatamente la diferencia de longitud entre la isla de El Hierro y el Observatorio Real de París, así como para establecer la situación de esta isla y la del pico de Tenerife, por donde la mayor parte de los geógrafos hacen pasar el primer meridiano del mundo, sin conocer exactamente su situación (Feuillée, 2006: 437).

En otro lugar de la misma memoria encontramos de nuevo referencia reiterada a los objetivos:

Después de haber realizado las observaciones en la isla de El Hierro se desplazará, si es posible, a la isla de Tenerife, donde algunas cartas marinas emplazan el primer meridiano, para determinar su situación. Allí medirá la altura del Pico, tan célebre entre los navegantes, y realizará los estudios astronómicos y físicos pertinentes. En el viaje de ida o en el de vuelta, intentará pasar por Cádiz para determinar el extremo occidental del Mar Mediterráneo, cuya parte oriental ha sido ya fijada por sus propias investigaciones y las del Señor Chazelles (Feuillée, 2006: 439).

En resumen, el objetivo principal del viaje era determinar la posición más exacta de los meridianos tanto de la isla de El Hierro como del pico de Tenerife, pero también medir la altura del pico y determinar el extremo occidental del Mar Mediterráneo utilizando la posición de la ciudad de Cádiz. La expedición es una empresa de la Academia Real de Ciencias que desde su fundación tiene como objetivo el perfeccionamiento de la Geografía y la Navegación, configurándose este viaje como uno más, aunque quizás sea el más importante, de entre los que ha auspiciado y patrocinado desde finales del siglo xvii y comienzos del xviii. Como empresa que es de la Academia de Ciencias a ella corresponde definir los objetivos que habría que alcanzar, como así mismo afirma el padre Feuillée al comienzo de su relación del viaje, donde se señala a los señores Cassini y Maraldi <sup>2</sup> como autores de los mismos y que se hace llegar al padre Feuillée a través

<sup>2</sup> Jacques Cassini (1677-1756), también conocido como Cassini le fils o Cassini II, y Jacques Philippe Maraldi (1665-1729), primo hermano del anterior. Ambos realizaron operaciones de triangulación en Francia conducentes a la obtención de la medida de un grado de meridiano terrestre.

del abad Bignon (Feuillée, 2006: 438). Para resaltar la importancia de esta empresa se hace referencia a la ordenanza de Luis XIII, dictada en 1634, que obligaba a los geógrafos franceses a hacer pasar el primer meridiano por la isla de El Hierro, señalándose que hasta la fecha no ha sido posible determinar la posición precisa de esa isla en relación con los meridianos más célebres como por ejemplo el de París (Feuillée, 2006: 439).

Es en esta misma introducción donde encontramos la razón por la que se ha elegido al padre Feuillée para tal empresa. Se afirma que es una persona habituada a los viajes y experta en observaciones astronómicas, y como matemático del Rey ha dado ya pruebas de su capacidad y de su rigor en las observaciones astronómicas y físicas con motivo de sus diversos viajes a Levante y a las Islas Occidentales.

Además de matemático del Rey, el padre Feuillée es un experto viajero y muy hábil observador astronómico. Pero, sobre todo, es un gran conocido de la Academia, pues el propio Jacques Cassini (Cassini le fils) ha realizado extractos de los informes del padre Feuillée, que han sido publicados en el anuario de la Academia, ya sea como *histoire* o como *memoire*, sin que haya pasado mucho tiempo entre la entrega de los informes, por el padre Feuillée, y su publicación en el anuario de la Academia. Así, en 1704 se publica el extracto del viaje realizado a Levante los años 1700-1701 (Cassini le fils, 1704); en 1706 el correspondiente al viaje a la Martinica efectuado en los años 1703-1704 (Cassini le fils, 1706); en 1709 el correspondiente al viaje a las Indias Occidentales en los años 1704, 1705 y 1706 (Cassini le fils, 1709). En 1714 se publicaron dos informes firmados por el mismo Jacques Cassini que corresponden a los viajes a las Indias Occidentales y que ampliaba a los anteriores. Vemos que no transcurrió mucho tiempo entre, por un lado, la realización de las observaciones y finalización de los viajes y, por otro lado, la publicación en el anuario de la Academia del correspondiente informe o extracto. No ocurrió lo mismo con el viaje de Louis Feuillée a las Islas Canarias en 1724.

#### LA RELACIÓN O DIARIO DEL PADRE FEUILLÉE Y EL ANUARIO DE LA ACADEMIA REAL DE CIENCIAS

La primera referencia, al viaje y a las observaciones realizadas por el padre Feuillée, apareció en el anuario de la Academia correspondiente al año 1742, publicado en 1745. Allí, en *Histoire*, hay una breve nota del Secretario de la Academia (M. Le Secretaire, 1745), e informes, en *Memoires*,

de los señores Maraldi<sup>3</sup> (M. Maraldi, 1745) y Le Monnier le fils<sup>4</sup> (M. Le Monnier le fils, 1745). La segunda referencia es el extracto realizado por l'Abbé De La Caille<sup>5</sup> y publicado en el volumen de *Memoires* de 1746 (M. l'Abbé De La Caille, 1751). Nos encontramos con que no solo no se publicó la relación o diario del padre Feuillée relativa a este importante viaje sino que los informes y notas de la Academia, que lo citan, se publican en 1745 y 1751, cuando han transcurrido 21 años en el primer caso y 27 en el segundo desde la realización del viaje. Parece mucho tiempo para hacer públicos los resultados de un viaje científico con objetivos tan importantes y trascendentes, pues no debemos olvidar la importancia otorgada a esta expedición respecto de lo que debería suponer para la mejora de la navegación, la geografía y el comercio.

El Secretario de la Academia se limita a hacer una exposición muy breve sobre los datos presentados en las memorias de Maraldi y Le Monnier le fils sin entrar en detalle sobre los mismos, y sin aclarar las discrepancias existentes entre ambos. Termina remitiendo al lector interesado a examinar con detenimiento las correspondientes memorias.

La memoria de Maraldi (M. Maraldi, 1745) fue presentada a los miembros de La Academia el 23 de junio de 1742<sup>6</sup> y publicada en el anuario correspondiente. Trata de la diferencia de meridianos entre el Observatorio Real de París, la Isla de El Hierro y otros lugares geográficos. Consta de diez páginas y es en las tres primeras donde encontramos las referencias al viaje de Louis Feuillée. La fuente para la elaboración de esta memoria, según el propio Maraldi, es una carta remitida por el padre Feuillée a M. Cassini fechada el 20 de febrero de 1725 y unas notas manuscritas elaboradas por su tío J.P.Maraldi, tomadas de las observaciones del padre Feuillée. También encontramos aquí una posible explicación a por qué no se publicó

<sup>3</sup> Giovanni Domenico Maraldi (1709-1788), sobrino de Jacques Philippe Maraldi. Astrónomo, ingresó en la Academia en 1731. Editor de la célebre publicación de la Academia *Connaissance des Temps*. Fue asociado ordinario de la Academia y trabajó en el Observatorio de París.

<sup>4</sup> Pierre Charles Le Monnier (1715-1799). Hijo de Pierre Le Monnier. Astrónomo, ingresó en la Academia en 1735. *Pensionaire ordinaire* de la Academia en 1749.

<sup>5</sup> Nicolas Louis De La Caille (1713-1762). Astrónomo, Profesor de matemáticas en el Collège Mazarin, ingresó en la Academia en 1741, realizó mediciones geodésicas en el Cabo de Buena Esperanza y con G.D. Maraldi y C.F. Cassini de Thury (1714-1784) participó en la triangulación de Francia que proporcionó como principal resultado los mapas de Francia de 1744 y 1745.

<sup>6</sup> El padre Feuillée murió en 1732 y había regresado de las Canarias a finales de 1724, así que la primera noticia pública de su viaje se produce diecisiete años después de haber finalizado el viaje.

la relación o diario del padre Louis Feuillée. Maraldi sugiere que tanto J. Cassini como el propio tío de Maraldi, con el fin de no disminuir el honor que correspondía al padre Feuillée, no habían publicado en las *Memoires de l'Académie* el diario remitido por éste, esperando a que se realizara la correspondiente publicación. Sin embargo, con el transcurso del tiempo se había corregido la diferencia de meridiano entre París y la isla de El Hierro en la *Connoissance des Temps* y en la tabla de longitudes y latitudes que M. Desplaces colocó al final del último tomo de las *Ephémérides*. Además, añade Maraldi, en la relación de los viajes del padre Laval, se encuentra una observación del primer satélite de Júpiter, realizada en Funchal capital de la Isla de Madera y por el padre Feuillée en Marsella que, según las observaciones comunicadas por Le Monnier, arrojan una duda de 2° 28' entre la diferencia de meridianos de París y de la Isla de El Hierro. Así que, de alguna forma, esta memoria de Maraldi intentaba devolver el honor que correspondía al padre Feuillée por sus inéditas observaciones.

La memoria de Le Monnier (M. Le Monnier le fils, 1745) fue presentada a los miembros de la Academia el 5 de septiembre de 1742 y apareció en el mismo volumen que la memoria de Maraldi. Lleva por título general *Sur la longitude de L'Isle de Bourbon*, y consta de siete páginas donde se presentan cinco informes, siendo los dos últimos, que abarcan las cuatro páginas finales, los dedicados a los resultados del viaje de Louis Feuillée. De su lectura se deduce que ha utilizado la memoria remitida por el padre Feuillée a la Academia. Es en esta memoria donde se transcribe la ordenanza de 1 de julio de 1634, del Rey Louis XIII, relativa al establecimiento del Primer Meridiano en la parte Occidental de las Islas Canarias. En una nota en el margen (Le Monnier le fils, 1745: 351) se resalta la importancia de determinar la longitud geográfica del Pico de Tenerife pues es de gran importancia para corregir las rutas estimadas en la navegación. Así mismo propone a la Academia que comunique a los navegantes las observaciones que él mismo realiza en esta memoria relativas a la posición de determinados puntos geográficos que resultan de gran importancia para la navegación. Termina incluyendo una tabla de longitudes y latitudes de diversos lugares que tiene la particularidad de referir, las longitudes, al primer meridiano situado en la costa occidental de la isla de El Hierro.

Por último tenemos el extracto del diario elaborado por De La Caille (l'Abbé De La Caille, 1751). Aparece en el anuario de año 1746, publicado en el año 1751. Es un documento extenso pues consta de veintidós páginas y se acompaña de un mapa de las Islas Canarias grabado por J. Ingram, basado en los datos del diario. Se organiza en una introducción y ocho artículos de la forma siguiente:

Avertissement. Relation abrégée de la route du P. Feuillée (Article I). Observations faites à Cadix (Article II). Observations faites à Laguna, dans l'isle de Ténériffe (Article III). Observations faites au pic de Ténériffe (Article IV). Observations faites à l'isle de Fer (Article V). Observations faites à l'Orotava (Article VI). Calcul des positions du pic de Ténériffe, de l'isle de Fer, de l'isle de Palma, à l'égard de l'Orotava (Article VII). Remarques sur les isles Canaries (Article VIII).

En lo que sigue nos referiremos a este documento con el título abreviado de *Extrait*. El *Extrait* se puede considerar como la posición oficial de la Academia<sup>7</sup> sobre el viaje del padre Louis Feuillée. Está basado en el diario de éste, y en él, l'Abbé De La Caille rehace todos los cálculos del padre Feuillée utilizando, según sus propias palabras, métodos más simples y exactos. No consta que fuera leído en ninguna sesión de la Academia como sí ocurrió con las memorias de Maraldi y Le Monnier le fils.

Antes de profundizar en los informes anteriores y en el propio diario del padre Feuillée, veamos cuál era el estado de la cuestión relativo a las coordenadas geográficas que tendría que determinar el viaje del padre L. Feuillée.

Los académicos Maraldi y Le Monnier le fils presentan en sus memorias un balance de la cuestión. En el anuario correspondiente, se hace referencia tanto al conocimiento geográfico antiguo relativo a las Canarias como a otro más actualizado. Entre el primero cabe destacar la posición de París a 24°, al oriente del primer meridiano, posición que M. de la Hire redujo a 20° 30', también al oriente, en sus tablas astronómicas publicadas en 1687 (M. Le Monnier le fils, 1745). Este último dato se basa en dos informes. El primero está formado por las observaciones astronómicas realizadas en la isla de Gorea y el segundo parte de los diarios de navegación de los mejores pilotos, que sitúan la isla de El Hierro muy próxima al meridiano que pasa por la isla de Gorea. Sin embargo, al ser la latitud de la isla de Gorea 13° más baja que la de la isla de El Hierro y mediar por tanto una distancia considerable entre ambas, los pilotos podrían haber cometido un error importante al estimar la diferencia de longitud entre las dos islas. Es interesante resaltar esta combinación de dos fuentes diferentes, una la científico-astronómica y otra los diarios de navegación, para

<sup>7</sup> En el anuncio introductorio leemos: «Il remit [Feuillée] à son retour à l'Académie, une Relation sort ample de son voyage, mais elle n'a jugé à propos d'en publier que l'extrait suivant, qui contient généralement toutes les observations telles qu'elles ont été faites, & résultats des calculs pour les réductions nécessaires... On a refait ici absolument tous les calculs» (l'Abbé De La Caille, 1751: 129-130).

establecer las coordenadas geográficas de un punto. La primera se basa en unos procedimientos y cálculos establecidos por la comunidad científica como válidos, mientras que la otra se fundamenta en la habilidad personal y en la experiencia de los pilotos. Sin que se haga mención explícita de ello, la primera observación es sin duda la derivada del viaje al Cabo Verde y otros puntos de África y América efectuado en 1682 y auspiciado por la Academia (Varin, des Hayes y de Glos, 1729). Además, Le Monnier le fils nos informa que M. Delisle, en 1700, redujo la cifra a 20° al Occidente de París mediante un cálculo realizado sobre un triángulo que tiene sus vértices sobre el Cabo Verde, la isla de Sal y la isla de El Hierro, del que se conocen sus lados, es decir las distancias entre los puntos geográficos, siendo conocida también la longitud del Cabo Verde, respecto a la isla de El Hierro, igual a 0° 33'.

La memoria de Maraldi hace referencia a otra observación, en este caso náutica, relativa a la exacta posición de las Canarias. Allí se afirma que los marinos holandeses que siguen las cartas náuticas de P. Goos y van Keulen encuentran las islas Canarias 30 leguas más al Oriente que lo esperado por tales cartas. Si suponemos que las leguas son leguas marinas de Francia, es decir de 20 en grado de círculo máximo, tendríamos una diferencia de 1° 42' (30sec28°:20) más orientales que lo esperado. Esta observación situaría la posición de la isla de El Hierro próxima a los 18° al Occidente de París.

De todo lo anterior se deduce que existen tres procedimientos puros para establecer la posición de un punto geográfico: por cálculos astronómicos, por procedimientos trigonométricos o mediante la estima de la posición por hábiles pilotos y marinos. Qué duda cabe que se pueden combinar entre ellos para producir métodos que podríamos llamar mixtos.

En cuanto a la localización del primer meridiano, éste se encontraría entre 20° 30' y 18° al Occidente de París. En términos náuticos significa una variación entre el meridiano más próximo y más lejano de 40 leguas, suponiendo esférica la Tierra.

Louis Feuillée presenta en su memoria datos relativos a la posición geográfica de los siguientes puntos: Cádiz, La Laguna, la ciudad de La Orotava, el Pico de Tenerife, un punto situado en la mitad de la isla de La Palma y la villa de la isla de El Hierro. En las conclusiones del *Extrait, Remarques sur les isles Canaries (Article VIII)*, leemos que las posiciones de las ciudades de Cádiz, La Laguna y La Orotava se consideran bien determinadas en longitud y latitud. Sin embargo, no así las del Pico de Tenerife ni la de la villa de la isla de El Hierro. Se considera que las observaciones no se han realizado con toda la precisión necesaria ni en las circunstancias



más favorables<sup>8</sup>. Sin embargo, la incertidumbre sobre la posición del Pico es poco considerable, dada su vecindad con la ciudad de La Orotava. No ocurre lo mismo respecto de la verdadera situación del primer meridiano. Todo lo que se puede concluir con certeza es que el meridiano, que está a 20° de longitud occidental respecto de París, pasa por la isla de El Hierro, sin que podamos señalar el punto verdadero por el cual pasa. Aunque no expresado de forma directa, se nos está informando de que el padre Feuillée no ha cumplido satisfactoriamente los objetivos principales de su viaje, pues no ha podido determinar la verdadera posición no sólo del meridiano que pasa por el Pico sino tampoco la del primer meridiano que pasa por la isla de El Hierro. En ningún otro lugar del *Extrait*, l'Abbé De la Caille fundamenta su conclusión. Sin embargo, la relación o diario del viaje, remitido por el padre Feuillée, proporciona abundantes datos relativos a observaciones astronómicas y cálculos matemáticos que podrían ayudar a determinar las verdaderas posiciones de todos los puntos geográficos encomendados. ¿Dónde está pues el problema? ¿Por qué no se considera que los resultados no son lo suficientemente válidos? Los datos básicos, constituidos principalmente por las observaciones astronómicas de los satélites de Júpiter y de la altura meridiana del Sol, aportados por el diario o relación del viaje del padre Feuillée, fueron utilizados por Maraldi, Le Monnier, l'Abbé De la Caille para obtener las coordenadas geográficas o diferencias de longitud entre los puntos encomendados y el observatorio de París. Mostraré cómo tales elaboraciones particulares difieren en los procedimientos, incluso hay datos derivados de observaciones astronómicas, obtenidos por el padre Feuillée, que fueron posteriormente recalculados por l'Abbé De La Caille.

No presentaré todos los cálculos realizados sino que mostraré un ejemplo de cada uno de los que son relevantes para ilustrar los procedimientos empleados. Cuando exista alguna discrepancia en procedimiento o en resultado lo haré notar.

Dado que lo fundamental en el viaje del padre Feuillée era determinar la verdadera posición de los dos meridianos y que utilizó como estación intermedia la ciudad de La Orotava, haré una exposición de cómo se calcularon las coordenadas de esta ciudad, del Pico de Tenerife y de la villa de la isla de El Hierro<sup>9</sup> por el padre Feuillée y por Maraldi, Le Monnier le fils y

<sup>8</sup> «...n'ont pas été faites avec toute la précision nécessaire, ni dans les circonstances les plus favorable» (l'Abbé de La Caille, 1751: 150).

<sup>9</sup> No mostraré los cálculos relativos a Cádiz, La Laguna y un punto de la Isla de La Palma, al no añadir nada nuevo a los anteriores respecto de los procedimientos de cálculo.

l'Abbé De La Caille, tal y como se refleja en el manuscrito que constituye el diario del viaje y en las memorias de la Academia publicadas en los años 1745 y 1751.

#### LAS INSTRUCCIONES Y LOS PROCEDIMIENTOS

Una cuestión clave: además de las instrucciones sobre lo que tenía que medir, ¿disponía el padre Feuillée de instrucciones sobre cómo hacer las mediciones?

Para arrojar alguna luz sobre esta cuestión habrá que retroceder hasta fines del siglo xvii a una de las principales expediciones auspiciadas por la Academia de Ciencias. En 1729 se publica por la Academia el volumen vii de las memorias correspondientes a los años 1666 a 1699. En la segunda parte de ese volumen encontramos las observaciones realizadas en uno de los más importantes viajes científicos de los patrocinados por la Academia: el viaje de Varin, des Hayes y de Glos al Cabo Verde y a las islas de América. En esta memoria se incluyen las instrucciones elaboradas por la Academia y que constituyen todo un protocolo científico para la realización de las observaciones astronómicas, conducentes a la determinación de la longitud y latitud geográficas. Pues bien, tal y como se deduce de la lectura del manuscrito del diario, las instrucciones fueron seguidas por el padre Feuillée en su viaje de 1724.

En primer lugar, y una vez llegado al lugar donde se realizaran las observaciones, se ha de establecer una estación de observación. El cálculo de la latitud del punto geográfico de observación es un problema nada simple. Para tal fin se dispone de dos métodos: mediante la altura de la Polar o mediante la altura meridiana del Sol. En este viaje se descartó el primero pues no hay ninguna observación registrada por el padre Feuillée de la altura de la estrella Polar. Quizás sea debido a que en nuestra latitud la estrella está a menos de un tercio del ángulo que forma el cenit con el plano del horizonte y por lo tanto la medida queda bastante afectada por la refracción de la atmósfera. El método utilizado por el padre Feuillée es el del cálculo de la altura meridiana del Sol. Para tal fin, se ha de disponer de una línea meridiana trazada sobre el suelo del lugar de observación y de un reloj que permita determinar el mediodía solar aparente o verdadero. Veamos qué

---

lo empleados. Tampoco haré hincapié en el procedimiento para calcular la altura de una montaña en La Laguna y el Pico del Teide para no extender innecesariamente este estudio. Remitimos al lector interesado a la bibliografía.

dicen al respecto las instrucciones redactadas por J. D. Cassini para el viaje a África y América de Varin, des Hayes y Glos, realizado el siglo anterior y que marcó un hito en cuanto a las exploraciones científicas auspiciadas por la Academia Real de Ciencias de París:

Habiendo llegado al lugar donde se van a realizar las observaciones, y habiendo elegido un sitio conveniente desde donde observar el cielo y colocados en situación los instrumentos, fijar los péndulos en la posición en la que fueron verificados antes de la partida, y puestos en movimiento a la hora aproximada del día, tómense varias alturas del borde superior o inferior del limbo solar, espaciadas en dos, tres o cuatro horas antes del mediodía. Al instante en que se toma las alturas, se observará la hora, minuto y segundo indicada por uno de los relojes y se anotará en el registro. Se esperará hasta la tarde cuando el mismo limbo solar retorne a la misma altura en la que el instrumento fue previamente ajustado, y en tal instante se anotará de nuevo la hora, minuto y segundo indicada por el mismo reloj. Se comparará la hora de la mañana con la de la tarde y la diferencia dividida por dos y sumada a la hora de la mañana proporcionará la hora, minuto y segundo que el reloj señalaría al mediodía aparente. [...] Una vez que se ha ajustado el reloj según la manera explicada, se podrá trazar exactamente la línea Meridiana, marcando la sombra que cualquier cuerda, tensada a plomo, arroja sobre el suelo al instante del mediodía aparente que será conocido por el reloj. [...] Se tomarán lo más frecuente que se pueda las alturas meridianas del Sol y de las Estrellas fijas, para poder concluir la altura del Polo [...]. Cuando haya que hacer observaciones de las inmersiones y emersiones de los satélites de Júpiter se deberá asegurar, por observaciones recientes, del estado del reloj y se deberá verificar por observaciones subsiguientes [...]. Las observaciones más apropiadas para la determinación de las longitudes son las inmersiones y emersiones del primer satélite de Júpiter de su sombra (Varin, des Hayes y de Glos, 1729).

Estas instrucciones fijan los procedimientos canónicos para la determinación de la latitud y de la longitud geográficas. El primero es la observación de la altura meridiana del Sol o de una estrella fija, por ejemplo la estrella Polar. Para la longitud el procedimiento canónico lo constituye la observación de los eclipses, inmersiones y emersiones de los satélites de Júpiter. Este último consiste en observar, en el lugar del que se quiere determinar la longitud geográfica, el tiempo aparente en que ocurre el fenómeno astronómico. Si se dispone de la misma observación en el Observatorio origen, por ejemplo el Observatorio Real de París, entonces se tiene la diferencia de tiempo entre ambos. Con este dato y asumiendo que a una hora corresponden  $15^\circ$  de longitud se tiene la equivalencia que permite

determinar la longitud del lugar deseado respecto del observatorio origen. En ambos procedimientos es clave determinar la hora local aparente o verdadera. Como vemos, los procedimientos canónicos de la Academia son procedimientos astronómicos puros.

Otro problema que debe resolver el observador es la determinación de la declinación solar, pues el cálculo de la latitud geográfica, mediante la altura meridiana del sol, requiere del conocimiento de la declinación solar para el lugar de observación. Este es el primer cálculo que expone el padre Feuillée en su diario. Sólo aparece una vez en todo el manuscrito y justo al principio, como si quisiera dejar claro el procedimiento empleado para todos los demás cálculos similares. Es importante que nos fijemos en el mismo pues otro de los miembros de la Academia, l'Abbé De La Caille, realizó el mismo cálculo para cada observación de la altura meridiana del sol, obteniendo resultados ligeramente distintos de los del padre Feuillée. Esta variación, además del procedimiento seguido como luego veremos, hace que los cálculos de l'Abbé De La Caille difieran de los obtenidos por el padre Feuillée.

El 27 de mayo encontramos la siguiente anotación en el diario del padre Feuillée (Feuillée, [1724, Ms 38]: 39):

Je commencai mes observations pour le calcul du vray lieu du soleil

1724	9 <sup>s</sup> 10 <sup>d</sup> 19' 57''	3 <sup>s</sup> 7 <sup>d</sup> 50' 37''
may 27	4 24 53 25	25
	<hr style="width: 100%;"/>	<hr style="width: 100%;"/>
	2 5 13 22	3 7 51 2
	3 7 51 2	
	<hr style="width: 100%;"/>	
	10 27 22 20	
	1 2 9	
	<hr style="width: 100%;"/>	
	2 6 15 24	Lieu vray du soleil a Cadix

Con este cálculo el padre Feuillée ha determinado el valor  $\lambda$ , verdadero lugar del Sol sobre la eclíptica para el 27 de mayo de 1724, día de la observación. Ha utilizado las tablas relativas al movimiento medio y aparente del Sol que publicó en su obra de 1714 (Feuillée, 1714). De la tabla *Des Epoques des moyens mouvemens du soleil* obtiene para el año 1724 y 27 de mayo: *la longitud media* (9<sup>s</sup> 10<sup>d</sup> 19' 57'' + 4<sup>s</sup> 24<sup>d</sup> 53' 25'' = 2<sup>s</sup> 5<sup>d</sup> 13' 22'')

con la salvedad de que cada  $30^d$  (grados) =  $1^s$  (signo del zodiaco y estos acaban en 12, volviendo al principio). También obtiene el valor *lugar del apogeo*, para la misma fecha ( $3^s 7^d 50' 37'' + 25'' = 3^s 7^d 51' 2''$ ).

Calcula ahora la *anomalía media* = *longitud media* - *lugar del apogeo* =  $10^s 27^d 22' 20''$ . Con ese último valor halla la *ecuación del Sol* (para este signo es aditiva) y la suma a la *longitud media*, obteniendo el *verdadero lugar del Sol* =  $2^s 5^d 13' 22'' + 1^d 2' 9'' = 2^s 6^d 15' 24''$ . En la última suma ha cometido un error, en vez de sumar  $9''$  con  $22''$  ha sumado  $2''$  con  $22''$ , simplemente se ha movido dos líneas en un despiste, que inexplicablemente no ha corregido. Ha obtenido el verdadero lugar del Sol para tiempo medio no para tiempo real o aparente<sup>10</sup>. Sin embargo, aquí terminan sus cálculos.

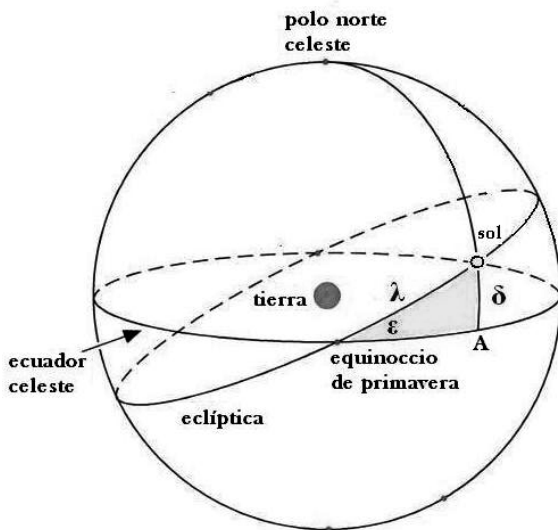


Figura 1

La Figura-1 muestra el modelo geométrico utilizado para determinar la declinación solar ( $\delta$ ): arco del meridiano celeste que tiene como extremos la posición del Sol sobre la eclíptica y el punto de intersección del meridia-

<sup>10</sup> Además ha utilizado los datos para la posición de París, cuando Cádiz se encuentra, por sus tablas, a  $32^{\circ} 42''$  al occidente. Otro ajuste que olvidó realizar. Hay otro error en los datos, pues la cifra  $9^s 10^d 19' 57''$  no es correcta. En la tabla referida aparece para el año 1724 la cifra  $9^s 10^d 18' 36''$ . Por más que reviso la tabla no encuentro la causa del error.

no celeste con el ecuador celeste, punto A de la Figura-1. El Sol se mueve con movimiento no uniforme sobre la eclíptica y recorre  $360^\circ$  en un año. Los  $360^\circ$  se distribuyen por igual en los doce signos zodiacales, correspondiendo a cada uno  $30^\circ$ . El lugar del Sol ( $\lambda$ ) se mide sobre la eclíptica, empezando en  $0^\circ$  en el punto de corte de la eclíptica con el ecuador celeste, correspondiente al equinoccio de primavera, comienzo del signo Aries. El ángulo que forma la eclíptica con el ecuador celeste ( $\varepsilon$ ), oblicuidad de la eclíptica<sup>11</sup>, es un valor que varía muy lentamente y puede ser considerado como constante para un período de tiempo suficientemente largo. El ángulo que forma el meridiano celeste que pasa por A y el ecuador celeste es de  $90^\circ$ . Luego aplicando al triángulo esférico, formado por el Sol, el punto A y el equinoccio vernal, una conocida fórmula de trigonometría esférica tenemos:

$$\frac{\text{sen } \delta}{\text{sen } \varepsilon} = \frac{\text{sen } \lambda}{\text{sen } 90^\circ} \quad \Rightarrow \quad \text{sen } \delta = \frac{\text{sen } \varepsilon \text{ sen } \lambda}{\text{sen } 90^\circ}$$

$$\Rightarrow \quad \text{Logsen} \delta = \text{Logsen} \varepsilon + \text{Logsen} \lambda - \text{Logsen} 90^\circ$$

Interesa expresar la relación mediante logaritmos para entender mejor el cálculo que sigue en el diario. Este continúa así:

Analogie pour trouver la déclinaison du soleil à Cadix le 27 may

S. T .....		
Sinus de la distance du soleil au plus proche Equinoxe	66 <sup>d</sup> 15' 24''	996158
Sinus de l'Obliquité de l'Ecliptique .....	23 <sup>d</sup> 29' 0''	960040
Sinus de la déclinaison du soleil .....	21 <sup>d</sup> 23' 30''	956198

S.T. significa sinus total y corresponde con el sen  $90^\circ$ . En el margen derecho de la línea debería aparecer el valor 10. Este valor corresponde con el Log sen  $90^\circ$ , y es igual a 10 cuando se utilizan tablas de logaritmos y razones trigonométricas en las que el radio del círculo está dividido en  $10^{10}$  partes.

La siguiente línea corresponde con Log sen  $66^\circ 15' 24'' = 9.96158$ .

El verdadero lugar del sol,  $\lambda$ , ha sido calculado antes y corresponde con  $2^s 6^d 15' 24'' = 66^\circ 15' 24''$ , dado que cada signo del zodiaco abarca  $30^\circ$ .

<sup>11</sup> El padre Feuillée y l'Abbé de La Caille utilizan para la oblicuidad de la eclíptica los valores  $23^\circ 29'$  y  $23^\circ 28' 30''$ , respectivamente. Este es otro punto de discrepancia entre ambos astrónomos.

La siguiente línea corresponde a  $\text{Log sen } 23^{\circ} 29' 0'' = 9.60040$ .

Si efectuamos  $9.96158 + 9.60040$  obtenemos la cifra 19.56198. Si restamos 10, que corresponde a  $\text{Log sen } 90^{\circ}$ , tenemos la cifra que aparece en la última línea a la derecha, es decir, 9.56198. El  $\text{Antilog sen}(9.56198) = 21^{\circ} 23' 30''$ .

En la siguiente página corrige la altura meridiana del borde superior del Sol del error del instrumento, de la refracción menos la paralaje y del semidiámetro del Sol, obteniendo el valor que pasa a denominar altura meridiana del Sol corregida. Estos cálculos no vuelve a repetirlos en todo el diario, dando por hecho que el lector a partir de estos cálculos, inferirá que los similares se realizan de la misma forma.

#### LA DETERMINACIÓN DE LAS COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LA CIUDAD DE LA OROTAVA

##### *Latitud de la ciudad de La Orotava*

El padre Feuillée realiza el 25 de agosto tres observaciones de la altura del borde superior del Sol en horas de mañana y tarde. A las 9 horas 53 minutos y 29 segundos obtiene para el borde superior del Sol:  $58^{\circ} 4' 55''$ . Esta misma altura es observada a las 13 horas 42 minutos y 51 segundos. Con dos mediciones más de la altura del borde superior del Sol llega a determinar que el verdadero mediodía se produce a las 11 horas 48 minutos y 18 segundos del reloj utilizado. Al día siguiente realiza mediciones equivalentes obteniendo para el verdadero mediodía la cifra 11 horas 46 minutos y 17 segundos. Con esta y la cifra anterior determina que el reloj retrasa en un día 2 minutos y 1 segundo. Así que ya dispone de un ajuste para el reloj de péndulo utilizado. Sabe a qué hora del reloj se produce el paso del Sol por el meridiano del lugar, verdadero mediodía local. Sin ningún otro ajuste adicional, realiza siete observaciones de la altura meridiana del borde superior del disco solar los días 26, 27, 28, 29, 30 de agosto y 1 y 2 de septiembre. Cada observación tiene el siguiente formato, siendo esta la correspondiente al 26 de agosto:

Altura meridiana del centro del Sol corregida <sup>12</sup> :	71° 55' 2'' ( $\alpha$ )
Declinación solar septentrional <sup>13</sup> :	10° 18' 29'' ( $\delta$ )
Altura del Ecuador:	61° 36' 33'' ( $\alpha - \delta$ )
Altura del Polo (latitud):	28° 23' 27'' ( $\varphi = (90^\circ - (\alpha - \delta))$ )

Por el total de observaciones tenemos:

Fecha	Latitud
26 agosto	28° 23' 27''
27 agosto	28° 23' 48'' <sup>14</sup>
28 agosto	28° 23' 35''
29 agosto	28° 23' 38''
30 agosto	28° 23' 24''
1 septiembre	28° 23' 34''
2 septiembre	28° 23' 41''

Para determinar la “verdadera latitud” Feuillée calcula el promedio<sup>15</sup> entre las observaciones menor y mayor, obteniendo: 28° 23' 32'' para la latitud de la ciudad de La Orotava.

Veamos qué hacen l'Abbé De La Caille, Maraldi y Le Monnier le fils. De La Caille utiliza seis de las alturas meridianas del centro del Sol. No utiliza la correspondiente al 26 de agosto. Aunque no lo dice, debemos pensar que es porque Feuillée anotó esa observación como dudosa. Con las restantes como datos básicos rehace los cálculos utilizando valores propios para la declinación solar ( $\delta$ ) calculados para cada día, suponiendo la oblicuidad de la eclíptica igual a 23° 28' 30'' (Feuillée utilizó, como hemos visto, para tal valor la cifra de 23° 29'). De esta forma, l'Abbé De La Caille, obtiene un valor de la latitud de la ciudad de La Orotava igual a 28° 23' 2'',

<sup>12</sup> El dato obtenido por observación y lectura directa del instrumento se corrige respecto del error del instrumento utilizado (un cuarto de círculo), de la refacción menos la paralaje y del semidiámetro solar.

<sup>13</sup> Que suponemos calculada por el padre Feuillée para cada observación meridiana según las tablas correspondientes. Este dato será modificado posteriormente por l'Abbé de La Caille en su *Extrait*.

<sup>14</sup> Este dato es seguramente erróneo. No es consistente con la afirmación de que hay sólo 17'' de diferencia entre el dato menor y el mayor, y si en lugar de 48'' colocamos 8'' se obtiene aproximadamente el promedio dado por Le Monnier le fils.

<sup>15</sup> La diferencia 17'', la divide por dos y el resultado, 8'', lo suma a la menor latitud.



promedio de las seis observaciones y no como hace Feuillée promediando sólo las extremas. Hay una diferencia de  $\frac{1}{2}$  minuto entre el valor calculado por el padre Feuillée y el calculado por l'Abbé De La Caille, diferencia que aumenta a casi 1 minuto si consideramos el redondeo realizado por el padre Feuillée en otro momento en que considera que la latitud de la ciudad de La Orotava es de  $28^{\circ} 24'$ <sup>16</sup>.

Tenemos aquí un cambio en el procedimiento. Mientras l'Abbé De la Caille utiliza el promedio de todas las observaciones no dudosas, el padre Feuillée sólo promedia los valores extremos. Además, cada dato correspondiente a la altura meridiana del Sol ha sido calculado utilizando un valor diferente de la declinación solar. Por ejemplo, el 27 de agosto en La Orotava: el padre Feuillée da como valor de la altura meridiana del centro del Sol corregida el valor  $71^{\circ} 33' 21''$ . A tal valor suma la declinación septentrional  $9^{\circ} 57' 9''$  y obtiene  $61^{\circ} 36' 12''$ , cuyo complemento  $28^{\circ} 23' 48''$  es la altura del polo en La Orotava. L'Abbé De La Caille, al valor  $71^{\circ} 33' 21''$  suma el valor  $9^{\circ} 56' 36''$ , declinación solar que ha calculado, y obtiene un valor que restado de  $90^{\circ}$  proporciona  $28^{\circ} 23' 15''$  para la latitud de La Orotava.

Maraldi<sup>17</sup> utiliza otras fuentes<sup>18</sup> que ya hemos citado. Con esa información, y no con la de la memoria del padre Feuillée, proporciona para la ciudad de La Orotava una latitud igual a  $28^{\circ} 24' 21''$ . De su breve exposición no podemos concluir el procedimiento por el cual llega a este valor.

Le Monnier le fils promedia las siete observaciones del padre Feuillée y obtiene como valor para la latitud de la ciudad de La Orotava  $28^{\circ} 23' 30''$ , casi igual a la obtenida por el padre Feuillée promediando sólo los valores extremos. Pero aquí el procedimiento es distinto y es el mismo que el seguido por l'Abbé De La Caille. Además no excluye, como hace l'Abbé De La Caille, el dato dudoso del 26 de agosto.

Aunque los datos correspondientes a la observación astronómica corregida son los mismos, el proceso de cálculo difiere de un astrónomo a otro, obteniendo cada uno un valor distinto para la latitud de la ciudad de La

<sup>16</sup> «...pour eviter les fractions dans les calcul on la suposée de  $28^{\circ} 24'$ » (Feuillée, [1724, Ms 38]: 302).

<sup>17</sup> «Nous trouvons aussi dans le même endroit des notes de mon oncle la latitude de l'Orotava déterminée par les observations du P. Feuillée, de  $28^{\circ} 24' 21''$ , & celle de l'Isle de Fer de  $27^{\circ} 47' 53''$ » (Maraldi, 1745: 123).

<sup>18</sup> Las notas de Jacques Philippe Maraldi son utilizadas para deducir todos los datos presentados salvo el relativo a la longitud de la ciudad de La Orotava. Para este utiliza la carta enviada por Feuillée a Cassini, fechada el 20 de febrero de 1725.

Orotava. La siguiente tabla resume los valores dados por cada astrónomo a esta latitud:

Autor	Latitud de la ciudad de La Orotava
Maraldi	28° 24' 21''
Feuillée	28° 23' 32''
Le Monnier	28° 23' 30''
De La Caille	28° 23' 2''

### *Longitud de la ciudad de La Orotava*

El procedimiento canónico para la determinación de la longitud geográfica es el denominado de la media de los eclipses de los satélites de Júpiter<sup>19</sup>. Tal procedimiento se ha puesto en práctica en anteriores viajes por Europa y América, siendo el preferido por los miembros de la Academia tal y como consta en las instrucciones generales (Varin, des Hayes y de Glos, 1729: 437), principalmente del primero de los satélites, pues frente a la rareza de otros fenómenos astronómicos, como por ejemplo los eclipses de luna, estos son muy comunes y ocurren cada dos días<sup>20</sup>.

El procedimiento consiste en observar la inmersión o emersión del primer o segundo satélite de Júpiter y comparar la hora de la observación con la tomada para el mismo fenómeno en el Observatorio Real de París o en otra posición geográfica de longitud conocida. Tres elementos son importantes para el correcto desarrollo del procedimiento. Primero, disponer de un instrumento óptico que permita la precisa observación de los satélites, es decir, la existencia de un telescopio o catalejo óptico. Segundo, un reloj que permita anotar la hora, minuto y segundo de la observación. Por último, una tabla de Efemérides astronómicas relativas, en este caso, a los satélites de Júpiter. Esto último ha sido una de las empresas más importantes de J.D. Cassini quien, desde la segunda mitad del siglo xvii, se ha embarcado en el proyecto de elaborar unas tablas precisas para la observación de los fenómenos astronómicos, entre otros los eclipses de los satélites de Júpiter.

<sup>19</sup> «La méthode de déterminer les longitudes des lieux de la Terre para le moyen des Eclipses des Satellites de Jupiter...» (Varin, des Hayes y de Glos, 1729: 431).

<sup>20</sup> El primer satélite tiene un período de revolución de 1 día y 18,5 horas aproximadamente, mientras que el del segundo es de 3 días 13 horas. Es decir, cada dos días observamos un eclipse (García Franco, 1947: I, 294).

Veamos el funcionamiento del procedimiento en manos del padre Feuillée para la longitud de la ciudad de La Orotava. Tras ajustar el reloj mediante observaciones del paso meridiano del disco solar los días 25 y 26 de agosto, tal y como se especifica en las instrucciones generales ya citadas, realiza dos observaciones de la emersión del primer satélite las noches del 26 de agosto y 2 de septiembre que compara con las mismas realizadas en el Observatorio Real de París.

Fecha	Hora local	Hora en París	Diferencia horaria
26 de agosto	7h 10' 31.5''	8h 25' 34''	1h 15' 2.5''
2 de septiembre	9h 7' 37''	10h 22' 46''	1h 15' 9''

Promedia las diferencias horarias obteniendo  $1h\ 15'\ 5''\ \frac{1}{2}$  de diferencia horaria entre la ciudad de La Orotava y el Observatorio de París (Feuillée, [1724, Ms 38]: 269). Esto es equivalente a una longitud geográfica de la ciudad de La Orotava igual a  $18^\circ\ 46'\ 22''\ \frac{1}{2}$  al oeste de París.

Maraldi utiliza el mismo procedimiento y datos de hora local ligeramente diferentes: 7h 10' 38'' y 9h 7' 47'' para los días 26 de agosto y 2 de septiembre respectivamente. Obtiene para la longitud de la ciudad de La Orotava la cifra  $18^\circ\ 44'\ 22''$  al oeste de París.

Le Monnier le fils emplea exactamente los mismos datos que el padre Feuillée para las dos emersiones del primer satélite de Júpiter, pero ajusta la observación media a  $1h\ 15'\ 5''\ \frac{3}{4}$ , obteniendo para la longitud de la ciudad de La Orotava la cifra de  $18^\circ\ 46'\ 26''\ \frac{1}{2}$ . Por último, l'Abbé De La Caille ajusta el reloj, con los datos aportados por el padre Feuillée, los días 26, 27 de agosto, 1 y 2 de septiembre. Con los nuevos tiempos establece la siguiente tabla para la emersión del primer satélite de Júpiter:

Fecha	Hora local	Hora en París	Diferencia horaria
26 de agosto	7h 10' 33''	8h 25' 34''	1h 15' 1''
2 de septiembre	9h 7' 40.5''	10h 22' 43''	$1h\ 15'\ 2''\ \frac{1}{2}$

Obteniendo como promedio el valor de  $1h\ 15'\ 1''\ \frac{3}{4}$  que equivale a  $18^\circ\ 45'\ 26''$  para la longitud de la ciudad de La Orotava. Tenemos como tabla resumen de los cuatro valores para la longitud de la ciudad de La Orotava la siguiente:

Autor	Longitud de la ciudad de La Orotava
Maraldi	18° 44' 22''
De La Caille	18° 45' 26''
Feuillée	18° 46' 22'' ½
Le Monnier	18° 46' 26'' ½

Aquí las discrepancias no provienen de haber utilizado los autores un procedimiento diferente para hallar el promedio, sino de una revisión de los datos de observación y de los cálculos subsiguientes.

Como resumen de lo expuesto, el *Extrait* de l'Abbé De La Caille abunda en la revisión y ajuste de los datos básicos, provenientes de las observaciones del padre Feuillée. Incluso el dato correspondiente a la hora de la emersión del satélite relativa al 2 de septiembre proviene de un promedio entre dos observaciones, una de Maraldi y otra de Cassini realizadas en el Observatorio Real el 2 de septiembre y que difieren en 6 segundos de tiempo (l'Abbé De La Caille, 1751: 146).

#### VERDADERA POSICIÓN DEL PICO DE TENERIFE Y DEL PRIMER MERIDIANO

Es en este punto donde el padre Louis Feuillée se aleja de los procedimientos canónicos, astronómicos puros, fijados por la Academia y emplea procedimientos derivados de la trigonometría plana. Como no es posible establecer una estación de observación en lo alto del Pico, utiliza como tal una posición lo más cercana posible. Es esta la razón de haber elegido y ser tan meticuloso en la determinación de la verdadera posición de la ciudad de La Orotava. Su proximidad al Pico hace del lugar una estación de observación ideal, hecho reconocido por los miembros de la Academia<sup>21</sup>.

El procedimiento seguido por el padre Feuillée consiste en utilizar la verdadera posición de la ciudad de La Orotava, calculada por él mismo, y mediante el cálculo de las diferencias en longitud y latitud entre la ciudad y el Pico establecer la verdadera posición de este último. Como veremos, esto se puede hacer de dos formas distintas, pues así son los procedimien-

<sup>21</sup> «L'incertidumbre sur le pic de Ténériffe est peu considérable, parce que cette montagne est sort voisine de la ville de l'Orotava...» (l'Abbé De La Caille, 1751: 150). «Les observations réitérées faites à l'Orotava, ville située dans l'Isle de Ténériffe, par le P. Feuillée, donnent très-exactement la différence en longitude entre Paris & le Pic de Ténériffe...» (Le Monnier le fils, 1745: 351).

tos seguidos por Feuillée por un lado y l'Abbé De La Caille por el otro. Frente al procedimiento puramente astronómico (altura meridiana del disco solar para la latitud y eclipse de uno de los satélites de Júpiter para la longitud, que no tienen en cuenta el tamaño de la Tierra), los procedimientos indirectos que van a poner en juego nuestros astrónomos sí dependen de esto último.

Ambos procedimientos requieren del conocimiento de la distancia entre la ciudad de La Orotava y el Pico. El padre Feuillée ha calculado tal distancia en 11094 toesas<sup>22</sup>, además ha calculado que la línea que une el Pico con su estación en la ciudad de La Orotava forma con la meridiana del lugar un ángulo de  $30^{\circ} 9'$ . Fijémonos en el triángulo ACB (Figura-2). El punto A representa la posición del Pico; el punto B, la posición de la ciudad de La Orotava y el punto C es un punto situado sobre la meridiana de la ciudad de La Orotava, es decir, la línea BC está en la dirección Norte-Sur. En dicho triángulo, AC es la diferencia de longitud entre la ciudad de La Orotava y el Pico, mientras que BC es la diferencia de latitud.

Feuillée utiliza el teorema del seno de la trigonometría plana para resolver el triángulo ACB. De esta forma calcula  $AC = 5572$  toesas y  $BC = 9593$  toesas.

Mostramos uno de los cálculos como ejemplo del quehacer matemático de la época, junto a una transcripción actualizada:

<sup>22</sup> Aunque de La Caille cuestiona lo forma de hacer de Feuillée, utiliza ese dato en sus cálculos. No tiene otra alternativa. Esta cifra la ha obtenido el padre Feuillée al determinar la altura del Pico, donde ha empleado como diámetro del ecuador terrestre el valor 6538594 toesas. Con este último valor se asume implícitamente que la Tierra tiene forma esférica. Aunque la medida de la altura del Pico era uno de los objetivos del viaje, para no extendernos en demasía en este trabajo, no entramos en el detalle del mismo y referimos al lector interesado a consultar el trabajo de Montesdeoca (2006).

Cálculo del padre Feuillée	Transcripción a notación moderna
Como AB seno total <sup>23</sup> es a CA seno de 30 <sup>d</sup> 9', del mismo modo 11094 <sup>24</sup> toesas son a un cuarto término que dará CA en toesas.	$AB/\text{sen } 90^\circ = CA/\text{sen } 30^\circ 9' = 11094/CA$ [la expresión de cálculo simplificada, para entender mejor lo que sigue es $CA = 11094 \text{ sen } 30^\circ 9' / \text{sen } 90^\circ$ ]
30 <sup>d</sup> 9' .....L. 9.7009334	$\text{Log } (30^\circ 9') = 9.7009334$
11093 t. 4 p. 10 p. 7 l. L. 4.0450853	$\text{Log } (11093 \text{ t. } 4 \text{ p. } 10 \text{ p. } 7 \text{ l.}) = 4.0450853$
suma .....L. 13.7460187	Suma de log = 13.7460187
S. T. ....L. 10	$\text{Log } (\text{sen } 90^\circ) = 10$
5572 t.=5758 pasos....resta L. 3.7460187	Resta = 3.7460187 Antilog (3.7460187) = 5572 toesas = 5758 pasos

De igual forma calcula el lado BC = 9593 toesas = 9913 pasos. Toesas y pasos son medidas de longitud, como necesita transformarlas en medidas angulares, es decir grados, minutos y segundos de arco, Feuillée utiliza la equivalencia de 60000 pasos por grado de círculo máximo de la esfera, asumiendo implícitamente que la Tierra tiene forma esférica. La forma esférica de la Tierra tiene como consecuencia que todos los grados de meridiano son iguales, no así los grados de paralelo, estos disminuyen en tamaño según nos alejamos de la línea ecuatorial, único paralelo que es círculo máximo de la esfera. Luego no hay problema en convertir la diferencia de latitud, establecida en 9913 pasos, en medida angular:  $60'/60000 = x/9913$ . Obtiene  $9^\circ 54'' 46''' 4/5$  para la diferencia de latitud.

Por lo tanto, la latitud del Pico es la de la ciudad de La Orotava menos ese valor calculado, dado que la ciudad de La Orotava es más septentrional que el Pico. Tenemos pues que la latitud del Pico es  $28^\circ 14' 5'' 13''' 1/5$ <sup>25</sup> (Feuillée, [1724, Ms 38]: 287).

El cálculo de la longitud del Pico requiere así mismo de la conversión de la diferencia de longitud, AC=5758 pasos, en grados, minutos y segundos de arco. Veamos cómo se enfrenta al problema Louis Feuillée:

...Puesto que tomamos los grados de longitud sobre círculos paralelos al ecu-

<sup>23</sup> Seno total =  $\text{sen } 90^\circ =$  radio del círculo, con el radio dividido en  $10^{10}$  partes.

<sup>24</sup> En el original se utiliza 11093 toesas 4 pies 10 pulgadas 7 líneas. He utilizado la cifra 11094 para abreviar, pero en los cálculos se utiliza el valor dado por Feuillée.

<sup>25</sup> Curiosamente Feuillée utiliza una cifra redondeada para la latitud de la ciudad de La Orotava,  $28^\circ 24'$ , en vez de  $28^\circ 23' 32''$ , mientras que no redondea para nada la diferencia de latitud entre el Pico y la ciudad de La Orotava.

dor y que los círculos van siempre disminuyendo de tamaño conforme se acercan al polo, están compuestos de 360 grados al igual que los círculos máximos de la esfera, pero de menor número de leguas por cada grado. De ello se deduce que para reducir en grados los pasos que AC tiene de diferencia de longitud entre el Pico y La Orotava, primero hay que buscar una media paralela (*moyenne parallele*) entre la latitud del Pico y la latitud de La Orotava. En segundo lugar hay que hacer la analogía siguiente mediante la cual obtendremos un número de pasos en leguas mayores, las cuales, reducidas a grados, darán AC, conocida en grados, pero desconocida en pasos geométricos (Feuillée, [1724, Ms 38]: 286; Feuillée, 2006: 540).

Feuillée necesita transformar AC ( $L_\varphi$ ), dado en pasos, a una latitud media  $\varphi$ , en pasos equivalentes sobre el ecuador ( $L_e$ ). Esto se hace mediante la expresión  $L_e = L_\varphi \sec\varphi$ , equivalente a  $L_e = L_\varphi / \sin(90^\circ - \varphi)$ . Esta última expresión permite y facilita el cálculo mediante las tablas de logaritmos. Pero antes es necesario calcular la «media paralela entre la latitud del Pico y de La Orotava». Es decir, el valor de  $\varphi$  de la última fórmula. Veamos los cálculos de Feuillée.

Cálculos de Feuillée (Feuillée, [1724, Ms 38]: 288)	
28 <sup>d</sup> 14' 5'' 13''' 1/5. Sinus Compl. et la Latitude du Pic .....	L. 9.9449831
28 <sup>d</sup> 24' .....	Sinus Compl.de la Latitude de Lorotava... L. 9.9443092
Somme .....	L.19.8892923
Moitie de La somme et sinus compl. De 28 <sup>d</sup> 19' 4'' 80/170.....	L. 9.9446461 ½
Cálculos en notación moderna	
Log sen (90-28° 14' 5'' 13''' 1/5)	= 9.9449831
Log sen (90-28° 24')	= 9.9443092
Suma	= 19.8892923
Mitad de la suma	= 9.94464615
Anti Log sen 9.94464615	= 61° 40' 56'' 30'''
90° -61° 40' 56'' 30''' = 28° 19' 3'' 29'''	
(el anti log sen lo he calculado utilizando las tablas de Brusi de 1814)	

Feuillée utiliza la siguiente expresión para el cálculo: Si  $\varphi_1$  y  $\varphi_2$  son dos latitudes conocidas, entonces  $\cos^2\varphi = \cos\varphi_1 \cos\varphi_2$ <sup>26</sup>. Lo que hace es hallar, no una latitud media proporcional, sino que calcula directamente una media proporcional del factor que va a utilizar en los cálculos. De esta

<sup>26</sup> De  $\cos^2\varphi = \cos\varphi_1 \cos\varphi_2$  se sigue que  $2 \log \sin(90^\circ - \varphi) = \log \sin(90^\circ - \varphi_1) + \log \sin(90^\circ - \varphi_2)$ . Este es el fundamento de los cálculos de la última tabla.

manera transforma los 5758 pasos que vale AC en 6540<sup>27</sup> pasos 3 pies 6 pulgadas 654/664 de leguas mayores, es decir, sobre el ecuador. Ahora, ya está en disposición de transformar AC en grados, mediante la equivalencia siguiente 60000 pasos:  $60' = 6540 \dots x$  (pues hay 60000 pasos en 1 grado de círculo máximo). Obtiene para x la medida angular de  $6' 32'' 26'''$  1/5. Esta es la diferencia de longitud entre La Orotava y el Pico (Feuillée, [1724, Ms 38]: 289).

Por lo tanto, la longitud del Pico<sup>28</sup>, al estar más al oeste que la ciudad de La Orotava, es  $(18^\circ 46' 22'' 30''') + (6' 32'' 26''' 1/5) = 18^\circ 52' 54'' 56''' 1/5$  al occidente de París.

Resumiendo: para calcular la posición del Pico utiliza una estación próxima, la ciudad de La Orotava, al no ser posible establecer una estación en el lugar requerido. Al estar ambas localizaciones muy próximas, considera el triángulo ACB como un triángulo plano, y la Tierra como si fuera una esfera para convertir las medidas longitudinales en angulares.

Veamos cómo procede l'Abbé De La Caille en su *Extrait*. Los cálculos se encuentran en el Article VII del *Extrait* (l'Abbé De La Caille, 1751: 147). Utiliza los datos suministrados por el padre Feuillée, es decir, distancia entre el Pico y la ciudad de La Orotava igual a 11094 toesas (cifra redondeada), diferencia de latitud 9593 toesas y diferencia de longitud 5572 toesas. Es decir, da por buena la aproximación de Feuillée de considerar el triángulo ACB como un triángulo plano. Pero al transformar las medidas longitudinales a angulares utiliza otra equivalencia. Veamos:

...donc ce pic est plus sud que l'Orotava de 9593 toises ou de  $10' 8''$ , & plus occidental de 5572 toises ou de  $6' 37''$ , en supposant que le degré de latitude est de 56850 toises, & celui de longitude de 50500 toises, à peu près tels qu'ils doivent être selon les dernières mesures de la Terre (l'Abbé De La Caille, 1751: 147).

De La Caille considera que la Tierra no es una esfera perfecta sino que tiene forma «elipsoidal»<sup>29</sup>. Así que no necesita realizar las conversiones que hace Feuillée sino que utiliza los valores correspondientes (las últimas medidas de la Tierra según su texto) a la variación del grado de latitud y de longitud según nos alejamos de la línea ecuatorial.

<sup>27</sup> 5758 sec ( $61^\circ 40' 56,5''$ )  $\approx$  6540.

<sup>28</sup> Este dato es mío. No he encontrado en el manuscrito ninguna anotación que proporcione directamente la longitud del Pico con respecto al Observatorio de París.

<sup>29</sup> Una consecuencia importante de que la Tierra tenga forma «elipsoidal» es que tanto el tamaño de los grados de longitud como los de latitud son desiguales.



Concluye para el Pico las siguientes coordenadas: Latitud  $28^{\circ} 12' 54''$  y Longitud  $18^{\circ} 52' 3''$ .

### *Latitud de la villa de la isla de El Hierro*

El 12 de agosto llegan a la isla de El Hierro. Feuillée se queja de las nieblas tan espesas que trae a la isla el viento y que impiden ver el cielo, sobre todo durante la noche. El 14 de agosto logra ver el Sol algunos minutos próximos a las 10 horas de la mañana y por la tarde a las mismas alturas del disco solar de la mañana, lo que aprovecha para determinar el verdadero mediodía por el reloj de péndulo. Esta determinación es importante para saber cuándo es el mediodía solar y así poder calcular la altura meridiana del sol. Ese día no hay observaciones de la altura meridiana del sol. Así que pienso que no fueron posibles tales observaciones. Sí lo hace el 15, 16 y 17 de agosto. Obtiene para la altura del polo en la villa de la isla de El Hierro los valores  $27^{\circ} 47' 54''$ ,  $27^{\circ} 48' 5''$  y  $27^{\circ} 47' 38''$ , respectivamente. Con estas tres alturas puede determinar la latitud de la villa de la isla de El Hierro:

La diferencia entre la menor y mayor de estas alturas es  $27''$ , la mitad  $12''$  y la añadió a la menor altura hallada y dio para la verdadera o más segura altura del polo  $27^{\circ} 47' 51''$  (Feuillée, [1724, Ms 38]: 267).

Este es un ejemplo del poco cuidado que presta a los cálculos el padre Feuillée. La «mitad de  $27''$ » es  $13.5$  que, sumado a la menor de las alturas,  $27^{\circ} 47' 38''$ , nos proporciona  $27^{\circ} 47' 51.5''$ , que sólo es medio segundo mayor que la señalada por Feuillée. Por otro lado, si hubiera sido consistente, al sumar  $12$  a la menor altura hubiera obtenido  $27^{\circ} 47' 50''$  que no coincide con la anotada. Además, consigna los cálculos en lugares dispares. Por ejemplo, el anterior lo es el 2 de octubre, y no el 17 de agosto, fecha a la que corresponde la última de las observaciones de la altura meridiana del Sol para la villa de la isla de El Hierro.

De La Caille vuelve a corregir los cálculos de Feuillée y, con los datos de las observaciones y las declinaciones solares corregidas, obtiene las alturas meridianas siguientes:  $27^{\circ} 47' 26''$ ,  $27^{\circ} 47' 28''$  y  $27^{\circ} 47' 2''$  para los días 15, 16 y 17 de agosto respectivamente. Luego calcula el promedio entre ambas obteniendo para la latitud de la villa de la isla de El Hierro el valor  $27^{\circ} 47' 20''$ . Otra imprecisión, esta vez de De La Caille, pues el promedio entre las alturas meridianas daría exactamente  $27^{\circ} 47' 18'' \frac{2}{3}$ ,

que podría aproximarse a  $27^{\circ} 47' y 19''$ , pero no a la cifra anotada por De La Caille.

Le Monnier promedia las tres observaciones del padre Feuillée, que según él solo difieren entre ellas de  $10''$  a  $30''$  y obtiene  $27^{\circ} 47' 50''$  para la latitud de la villa de la isla de El Hierro. Aquí encontramos otro resultado inexacto, pues el promedio de las tres observaciones de Feuillée arroja el valor de  $27^{\circ} 47' 52'' \frac{1}{3}$ .

Maraldi, según los datos suministrados por Feuillée a su tío, aporta como latitud de la villa de la isla de El Hierro  $27^{\circ} 47' 53''$ , resultado que esta más próximo al promedio de las tres observaciones dadas por el padre Feuillée.

La siguiente tabla muestra, por autor, los valores sobre la latitud de la villa de la isla de El Hierro:

Autor	Latitud villa de la isla de El Hierro
Maraldi	$27^{\circ} 47' 53''$
Feuillée	$27^{\circ} 47' 51''$
Le Monnier	$27^{\circ} 47' 50''$
De la Caille	$27^{\circ} 47' 20''$

De nuevo, como ocurriera con la latitud de la ciudad de La Orotava, es l'Abbé De La Caille el que corrige a la baja la latitud.

### *Longitud de la villa de la isla de El Hierro*

La intención clara de Louis Feuillée es determinar la longitud de la villa de la isla de El Hierro mediante el procedimiento *canónico* basado en los eclipses de los satélites de Júpiter. Así el 14 de agosto se vuelve a quejar de la dificultad que encuentra cada día para poder observar en esta isla los satélites de Júpiter, motivada porque el cielo raramente se descubre por la noche (Feuillée, [1724, Ms 38]: 188-189). Según sus propias palabras esto le obligó a tomar otra ruta, que consiste en utilizar la posición del Pico de Tenerife, cuyas coordenadas ha calculado ya, y determinar a partir de estas la de la villa de la isla de El Hierro. A las cinco de la tarde del 14 de agosto, divisa el Pico de Tenerife:

No hay que dejar escapar estas ocasiones, sobre todo cuando son muy raras. Instalé mi instrumento<sup>30</sup> sobre su soporte. Puse la aguja imantada sobre el O de la brújula, cuya línea norte y sur estaba perpendicular al anteojo fijo del semicírculo. En esta situación apunté con el anteojo móvil hacia el extremo del Pico de Tenerife. Hecha la operación, encontré que el Pico se situaba hacia el este del norte de la brújula en  $71^{\circ} 12'$  (Feuillée, [1724, Ms 38]: 189; Feuillée, 2006: 502).

Los siguientes días comprueba la medida, al ver de nuevo el Pico, encontrando el mismo valor de su primera observación. Ahora necesita el valor de la declinación del imán. Para tal fin, debe trazar una línea meridiana<sup>31</sup> en el lugar de observación. Esto es posible el día 17 ya que, según sus propias palabras, el Sol apareció con todo su esplendor. La variación del imán hacia el noroeste es de  $6^{\circ} 36'$ . Así que ya tiene el ángulo que forma la visual desde la posición en la villa de la isla de El Hierro, el Pico de Tenerife y el meridiano que pasa por la villa de la isla de El Hierro:  $71^{\circ} 12' - 6^{\circ} 35' = 64^{\circ} 37'$  (resta  $6^{\circ} 35'$  en vez de  $6^{\circ} 36'$ , de nuevo otra imprecisión inexplicable).

El 18 vuelve a Tenerife, abandonando la isla sin poder utilizar el procedimiento de los eclipses de los satélites de Júpiter para determinar la longitud de la villa. A pesar de que la distancia es considerable, entre el Pico y la villa de la isla de El Hierro, como para considerar el triángulo plano, Feuillée utiliza el mismo procedimiento trigonométrico que ya puso en funcionamiento para determinar la longitud del Pico de Tenerife.

<sup>30</sup> «El medio círculo... tenía más de un pie de diámetro provisto en el lugar de las alidadas de dos buenos anteojos, uno fijo sobre su diámetro y el otro móvil. El medio círculo está dividido en 180 grados y cada grado en minutos por líneas transversales. En el medio, lleva una brújula dividida exactamente en  $360^{\circ}$  y su aguja en muy viva. Esta brújula me ha servido para observar la variación del imán en varios lugares» (Feuillée, 2006: 502). Esta es la única vez que el padre Feuillée proporciona una descripción tan detallada de uno de los instrumentos empleados.

<sup>31</sup> «... había colocado una piedra de nivel sobre la que suspendí una bala de mosquete en el extremo de un hilo muy fino, precisamente a la hora del mediodía, señalada por mi reloj (aparece el sol). Marqué dos puntos de sombra a favor de la sombra del hilo y sobre esos puntos apliqué una regla y tracé una línea meridiana sobre la que puse mis dos brújulas. Dieron igualmente la variación al noroeste de  $6^{\circ} 36'$ » (Feuillée, 2006: 504).

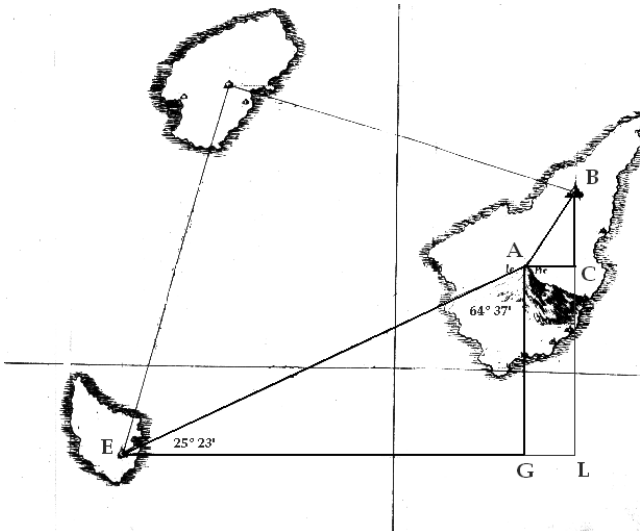


Figura 2

Considera el triángulo AGE (Figura-2), donde A es la posición del Pico de Tenerife y E es la posición de la villa de la isla de El Hierro. Los lados GA y GE son respectivamente las diferencias de Latitud y Longitud entre el Pico y la villa de la isla de El Hierro.

El cálculo de GA es simple, pues ya ha determinado las latitudes de ambas posiciones. Así que tiene  $GA = LC = LB - CB = 36' - (9' 54'' 46''' 4/5) = 26' 5'' 13''' 1/5$  que es la diferencia de latitud entre el Pico y la villa de la isla de El Hierro. Esta diferencia equivale en pasos geométricos a 26087<sup>32</sup>.

Para el cálculo de GE, utiliza la siguiente relación trigonométrica sobre el triángulo EGA:

$$GA : \text{sen}(25^\circ 23') = GE : \text{sen}(64^\circ 37')$$

<sup>32</sup>  $26087 = 93600 \cdot 60000 / 216000$  (para el cálculo en pasos ha redondeado la diferencia de latitud a  $26'$ ).

Cálculo del padre Feuillée	Transcripción a notación moderna
	[la expresión del cálculo para entender mejor lo que sigue, es GE = 26087 sen 64° 37' / sen 25° 23']
64 <sup>d</sup> 37' ..... L. 9.9559089	Log (64° 37') = 9.9559089
26087 pasos... L. 4.4163076	Log (26087) = 4.4163076
suma ..... L. 14.3722165	Suma de logaritmos igual a 14.3722165
25 <sup>d</sup> 23' ..... L. 9.6321255	Log (25° 23') = 9.6321255
54970..... resta L. 4.7400910	Restando tenemos 4.7400910
	Antilog (4.7400910) = 54970

Por idénticos procedimientos a los seguidos en la transformación de pasos en medidas angulares para la determinación de las coordenadas del Pico, Feuillée llega a los siguientes valores:

Diferencia de longitud<sup>33</sup> entre el Pico y la villa de la isla de El Hierro: 54970 pasos que equivale a 1° 2' 15" 47''' 5''''.

Diferencia de latitud entre el Pico y la villa de la isla de El Hierro: 26087 pasos que equivale a 26' 5" 13''' 1/5.

Latitud 27° 47' 51" (Feuillée, [1724, Ms 38]: 267).

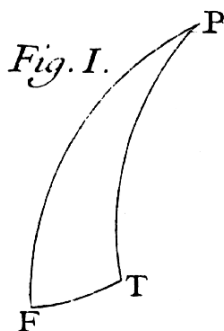
Longitud<sup>34</sup>: 19° 55' 10,5" 13''' 17''''.

De La Caille, por su parte, procede a determinar la diferencia de longitud entre la villa de la isla de El Hierro y el Pico de Tenerife. A tal fin, considera el triángulo esférico (Figura-3) cuyos vértices son F, la villa de la isla de El Hierro, T el Pico de Tenerife y P el Polo (Norte). El arco FP es 62° 12' 40" (colatitud de la villa de la isla de El Hierro), el arco PT es 61° 47' 6" (colatitud del Pico de Tenerife), el ángulo PFT es 64° 37', calculado desde la ciudad de la isla de El Hierro. Mediante trigonometría esférica se determina el ángulo FPT, que es la diferencia de longitudes entre el Pico y la villa de la isla de El Hierro, y que es igual a 1° 1' 42". Si ahora se añade

<sup>33</sup> Al calcular la media paralela entre la latitud del Pico y de la villa de la isla de El Hierro, Feuillée utiliza como latitud de la última posición el valor 27° 48' 5". Este valor es el mayor de las tres observaciones. Otra imprecisión o descuido inexplicable.

<sup>34</sup> Deducida a partir de los siguientes datos: Longitud del Pico (18° 52' 54,5" 26''' 1/5) + dif de longitud entre el Pico y la villa de la isla de El Hierro (1° 2' 15" 47''' 5'''').

esta cantidad a la longitud del Pico determinada en el apartado anterior, se llega a que la longitud de la villa de la isla de El Hierro es  $18^{\circ} 52' 3'' + 1^{\circ} 1' 42'' = 19^{\circ} 53' 45''$  al occidente de París. Si ahora añadimos  $8'$ , que según el mapa de Feuillée<sup>35</sup> es lo que se aleja la costa occidental de la villa de la isla de El Hierro, tenemos finalmente para la costa occidental de la isla de El Hierro una longitud igual a  $20^{\circ} 1' 45''$  al occidente de París. Así que el Pico de Tenerife está  $1^{\circ} 9' 42''$  al oriente de la costa occidental de la isla de El Hierro, mientras que la ciudad de La Orotava se encuentra alejada, en la misma dirección,  $1^{\circ} 16' 19''$ .



*Figura 3*

En una nota a pie de la página 147 del *Extrait l'Abbé de La Caille* nos indica que los cálculos que aparecen en el *Article VII (Calcul des positions du pic de Ténériffe, de l'isle de Fer, de l'isle de Palma, à l'égard de l'Orotava)* no son los del padre Feuillée que aparecen en su *Relation*, sino que son del autor del *Article* y que han sido realizados de una forma más simple y más susceptible de exactitud.

La trigonometría esférica introducida por l'Abbé De La Caille tiene como fin evitar los errores que se cometerían si utilizamos la trigonometría plana. Sin embargo, esta última es mucho más compleja en sus fórmulas y cálculos, sobre todo en una época en la que los cálculos derivados de las fórmulas trigonométricas sólo se podían realizar mediante el uso laborioso de las tablas de los logaritmos.

<sup>35</sup> Mapa que no se adjunta al manuscrito Ms38. Sin embargo aparece en el manuscrito Fr 12222. Este mapa es el que he utilizado para la figura-2 del presente trabajo.

Maraldi afirma haberse servido de las notas manuscritas de su tío<sup>36</sup> y sin más nos presenta los siguientes datos:

La Orotava está  $0^{\circ} 6' 32''$  al oriente del Pico de Tenerife.

El Pico de Tenerife está  $1^{\circ} 2' 15''$  al oriente de la isla de El Hierro (sin especificar localización exacta, mas suponemos se refiere a la villa).

Así que La Orotava está  $1^{\circ} 8' 47''$  al oriente de la isla de El Hierro.

Si ahora añade estas cifras a la longitud,  $18^{\circ} 44' 22''$ , calculada para la ciudad de La Orotava, tenemos que la diferencia entre los meridianos de París y la isla de El Hierro es  $19^{\circ} 53' 9''$ .

Le Monnier le fils considera que las observaciones realizadas por el padre Feuillée en la ciudad de La Orotava sitúan con bastante precisión la posición del Pico de Tenerife, situándolo en una longitud de  $18^{\circ} 53' 0''$  al occidente de París. Sin embargo, se queja<sup>37</sup> de no poder establecer con tanta precisión la longitud de la isla de El Hierro, ya que el padre Feuillée ha observado únicamente la latitud y el ángulo que forma el Pico con el plano del Meridiano<sup>38</sup>. Así que procede a rehacer los cálculos, sin decir cómo, y obtiene  $1^{\circ} 1' 17'' \frac{1}{2}$  para la diferencia en longitud entre los meridianos del Pico y de la villa de la isla de El Hierro.

Luego la villa de la isla de El Hierro está a  $19^{\circ} 54' 17'' \frac{1}{2}$  al occidente de París. Este último cálculo es mío, lo que Le Monnier le fils proporciona es la longitud de la costa occidental añadiendo a los datos de que dispone,  $8' \frac{1}{4}$  para la distancia entre la villa y la costa occidental de la isla de El Hierro, obteniendo finalmente que la longitud de París respecto del Primer Meridiano es igual a  $20^{\circ} 2' \frac{1}{2}$  (el resultado exacto de tales operaciones arroja  $20^{\circ} 2' 32'' \frac{1}{2}$ ).

Las tablas siguientes resumen, por autor, los valores de longitud para el Pico y la villa de la isla de El Hierro.

<sup>36</sup> «... nous nous servirons de quelques notes manuscrites de mon oncle, qu'il dit avoir tirées des observations du P. Feuillée» (Maraldi, 1745: 122).

<sup>37</sup> «Mais parce que nous ne pouvons établir avec autant de précision la longitude de l'Isle de Fer où le P. Feuillée n'a observé uniquement que la latitude & l'angle qu'y formoit le Pic de Ténériffe avec le plan du Méridien...» (Le Monnier le fils, 1745: 351).

<sup>38</sup> Se refiere al ángulo que forma la visual al Pico desde la villa de la isla de El Hierro con el meridiano que pasa por esta última localización.

Autor	Longitud Pico de Tenerife
Maraldi	18° 50' 54''
De La Caille	18° 52' 3''
Feuillée	18° 52' 54'' ½
Le Monnier	18° 53' 0''

Autor	Longitud villa de la isla de El Hierro
Maraldi	19° 53' 9''
De La Caille	19° 53' 45''
Le Monnier	19° 54' 17'' ½
Feuillée	19° 55' 10'' ½

## CONCLUSIÓN

Louis Feuillée no cumplió de forma satisfactoria ninguno de los dos principales objetivos encomendados por la Academia Real de Ciencias. El éxito de la misión pasaba por ceñirse a los procedimientos canónicos establecidos por la Academia para la determinación de la longitud, mediante la observación de los satélites de Júpiter, y de la latitud mediante la observación de la altura meridiana del Sol. Es decir, por procedimientos puramente astronómicos, procedimientos que habían sido establecidos y empleados de forma satisfactoria desde el último cuarto del siglo XVII por las diferentes expediciones científicas auspiciadas por la Academia. A pesar de esto, los miembros de la Academia utilizaron los datos básicos suministrados por la relación o diario del viaje del padre Feuillée para calcular las posiciones geográficas de los dos meridianos.

Repasemos lo hecho por el padre Feuillée y los miembros de la Academia, en especial l'Abbé De La Caille, por ser el informe más amplio y el que podemos considerar como posición oficial de la Academia. En cuanto a la operación de ajuste del reloj, tan importante como los siguientes procedimientos, Feuillée se somete a lo dispuesto en las instrucciones generales de la Academia. Respecto a la determinación de la latitud geográfica, Feuillée se ciñe también al procedimiento canónico y realiza varias observaciones de la altura meridiana del disco solar a las que somete a las correcciones pertinentes, de las cuales ya he hablado en su momento. Así, para cada estación de observación obtiene varios valores de la altura meri-



diana y procede a determinar el promedio entre los valores extremos como mejor estimación del verdadero valor de la latitud. Por otro lado, l'Abbé De La Caille y Le Monnier le fils utilizan la media de todas las observaciones como mejor estimación de la latitud. Ambos usan el sentido común y sabemos que la media muestral es un estimador insesgado del parámetro. Luego el procedimiento más apropiado es el empleado por l'Abbé De La Caille y Le Monnier le fils, y no el utilizado por el padre Feuillée. Aquí hay una diferencia clara en la estimación de la latitud a pesar de haberse sometido el padre Feuillée al procedimiento canónico.

Otra cuestión es la determinación de la longitud geográfica. Para Cádiz, La Laguna y La Orotava el padre Feuillée utiliza el procedimiento de los satélites de Júpiter, que es el procedimiento canónico establecido por la Academia. Esta es la razón de la afirmación de l'Abbé De La Caille, al considerar que tales posiciones están bien determinadas, no así las correspondientes a los dos meridianos, pues en estos casos, longitud del Pico y de la villa de la Isla de El Hierro, el padre Feuillée utiliza procedimientos trigonométricos. Sobre esto último es coincidente con Le Monnier le fils: ambos consideran que la posición del Pico no ofrece muchas dudas, dada su proximidad a la ciudad de La Orotava. Al mismo tiempo, l'Abbé De La Caille califica la labor del padre Feuillée de poco precisa y afirma que los cálculos de los meridianos, que realiza en el Article VII de su *Extrait*, son cálculos propios y hechos de forma más simple y más susceptible de exactitud que los que presenta el padre Feuillée en su relación. ¿En qué consiste la exactitud a que se refiere l'Abbé De La Caille? Si revisamos los cálculos relativos a la posición geográfica de los dos meridianos por el padre Feuillée, por un lado, y l'Abbé De La Caille por el otro, observamos que la diferencia entre ambos radica en una consideración diferente de la figura y tamaño de la Tierra.

El procedimiento astronómico es independiente del tamaño de la Tierra, pero no ocurre lo mismo con el procedimiento trigonométrico. Este último sí depende fuertemente del tamaño del planeta. Hemos visto que para el padre Feuillée la Tierra es esférica y utiliza unos valores de conversión de medidas longitudinales en angulares que corresponden con esa concepción, aunque hace constar su conocimiento de la forma esferoidal alargada hacia los polos (Feuillée, [1724, Ms 38]: 130) al remitirnos a las memorias publicadas por la Academia (M. Cassini, 1719 & J. Cassini, 1720), en las que J. Cassini expone su concepción «elíptica» de la figura de la Tierra. Esta consideración de que la Tierra tiene forma esférica constituye para l'Abbé De La Caille una falta de exactitud. Además, el padre Feuillée utiliza trigonometría plana para resolver los dos triángulos de la Figura-2.

En el caso del primer triángulo, el que tiene por vértices la ciudad de La Orotava y el Pico, no hay objeción, pues la proximidad del Pico y la ciudad de La Orotava permite considerar el triángulo como plano sin que el error sea considerable. Sin embargo, el segundo triángulo que involucra el Pico y la villa de la isla de El Hierro, debido a su tamaño, hace que l'Abbé De La Caille opte por utilizar trigonometría esférica en su resolución. Emplea además valores de conversión de magnitudes longitudinales en angulares que tienen en cuenta la forma «esferoidal» de la Tierra. Para l'Abbé De La Caille el modelo imperante de la Tierra es el derivado de la expedición conjunta hispano-francesa al Perú y a Laponia para dilucidar la polémica sobre si la Tierra es *sphéroïde oblong* o *sphéroïde applati*. Tenemos pues que, frente a una concepción esférica por parte del padre Feuillée, l'Abbé De La Caille antepone una Tierra en forma de *sphéroïde applati*, considerando que no es una esfera exacta sino que su forma esférica se achata en los polos.

La forma y tamaño de la Tierra es uno de los grandes problemas científicos que se plantea la Academia desde fines del siglo xvii hasta casi mediados del siglo xviii<sup>39</sup>. La importancia que tiene la resolución de este problema en el viaje del padre L. Feuillée se pone de manifiesto en palabras del propio Cassini:

Or la mesure de la Terre est la base & le fondement de ces deux sciences [Geographie & Navigation]. Car ayant déterminé par les Observations Astronomiques la longitude & la latitude des divers lieux de la Terre, il est nécessaire de connoître la grandeur des degrés pour pouvoir les réduire à une mesure certaine, & avoir la véritable distance entre ces lieux ; & réciproquement connoissant les véritables distances entre divers lieux de la Terre par des operations geometriques ou par des mesures itineraïeres, il est nécessaire, pour les réduire en degré, d'en sçavoir exactement la valeur (M. Cassini, 1719: 248).

Lo que Cassini plantea es la necesidad de disponer de un factor de conversión entre medidas longitudinales y angulares. Tal factor de conversión pasa por conocer qué figura y qué tamaño tiene la Tierra. Las consecuencias que tiene esto para los cálculos del padre Feuillée han sido puestas de manifiesto en aquellos momentos en los que ha convertido diferencias de longitud y latitud dadas en pasos, medida longitudinal, a grados, minutos y segundos, medida angular.

<sup>39</sup> Para un estudio detallado del planteamiento y evolución del problema remitimos al lector interesado a las obras de Lafuente y Mazuecos (1987) y Brown (1979).

El viaje del padre Feuillée se produce en el mismo momento en que está en litigio la forma y tamaño de la Tierra. Por un lado, están los partidarios de J. Cassini que consideran al planeta un *sphéroïde oblong*, como una elipse alargada hacia los polos. Tal concepción se deriva de la interpretación de mediciones empíricas realizadas durante el primer cuarto del siglo XVIII por diversos miembros de la Academia. Frente a esta concepción está la teórica de los seguidores de su principal valedor, I. Newton, que consideran que la Tierra tiene forma de *sphéroïde applati*, es decir forma esférica achatada por los polos. Esta polémica no será resuelta hasta después de realizada la doble expedición al Perú y a Laponia para medir un grado de meridiano en ambos sitios y determinar cuál de las concepciones era la correcta.

No deja de ser significativo que la publicación oficial de la Academia sobre las observaciones realizadas en esos viajes y la conclusión sobre la forma de *sphéroïde applati* se produzca en 1749 (Bouguer, 1749), justo dos años antes de la publicación de la memoria de l'Abbé De La Caille sobre el viaje del padre Feuillée. La relación de fechas apoya mi hipótesis, pues la publicación de Bouguer es el resultado de los informes presentados en diferentes sesiones de la Academia los años 1744 y 1745<sup>40</sup>, apareciendo el *Extrait* de l'Abbé De La Caille en el anuario de la Academia correspondiente a 1746 que se publica en 1751.

Al no poder realizar determinaciones de longitud utilizando procedimientos astronómicos puros, en los que no es necesario asumir el tamaño de la Tierra, debido a que las condiciones no le fueron favorables, y tener que cambiar a procedimientos trigonométricos, la relación del viaje del padre Feuillée se vio inmersa en el centro de la polémica sobre la verdadera forma y tamaño de la Tierra. Así que los miembros de la Academia no tomaron la decisión de publicar un informe amplio del importante viaje del padre Feuillée hasta haber resuelto la polémica de la figura y tamaño de la Tierra.

Por otro lado, la memoria remitida por el padre Feuillée a la Academia y que ha llegado hasta nosotros en su formato manuscrito adolece además de errores de cálculo y de rigor, incluso en momentos muestra descuidos

<sup>40</sup> Así consta en la certificación de Granjean de Fouchy, secretario perpetuo de la Academia Real de Ciencias que acompaña a la publicación de M. Bouguer: «Extrait de Registres de l'Académie Royale des Sciences. Des 16 & 29 Novembre 1748. Monsieur Bouguer ayant lû en plusieurs seances des années 1744 & 1745 le rapport des observations faites au Pérou pour déterminer la figure de la Terre, l'Académie a jugé cet ouvrage digne d'être donné au Public & a décidé qu'il seroit imprimé comme fait par son ordre. En soi de quoi j'ai signé le présent certificat. A Paris ce 30 Avril 1749. Signé, Granjean de Fouchy, Secrétaire perpetuel de l'Académie Royale de Sciences».

inexplicables, como ya he señalado. Quizás fue redactada con mucha prisa, al regreso del viaje a finales de 1724 y no pudo realizar una revisión de la misma. Es posible que esta sea la causa, un intento último de mejorar la relación, de la carta enviada el 20 de febrero de 1725 a J. Cassini que cita Maraldi en su memoria y que junto con las notas de su tío J.P. Maraldi constituyen la fuente de los datos que este presenta en su informe a la Academia en 1742. Recordemos que, en el *Extrait*, l'Abbé De La Caille se queja de que el padre Feuillée ha sido poco cuidadoso e inexacto en sus cálculos. Respecto al procedimiento empleado para calcular la latitud es necesario determinar primero la declinación solar para el lugar de observación. Ya he señalado que este es justo el primer cálculo que presenta el padre Feuillée en su diario, como ejemplo ilustrador y que, además de contener un error numérico, de ninguna manera sigue el procedimiento estándar tal y como se puede comprobar en los manuales al uso de la época, entre los que destacamos el del propio padre Feuillée (Feuillée, 1714: 665-696) y el más completo y actualizado debido a J. Cassini (Cassini, 1740: 10-14); este último utilizado por l'Abbé De La Caille al rehacer los cálculos del padre Feuillée tal y como afirma en el *Extrait*, y como ya señalé en su momento, el cálculo del padre Feuillée contempla el lugar verdadero del Sol para tiempo medio y no para tiempo real, como es preceptivo.

En cuanto al procedimiento para determinar la longitud, procedimiento de los satélites de Júpiter, este pasa por determinar el verdadero tiempo en que ocurre el fenómeno tanto en el lugar de observación como en el observatorio de referencia. Aquí también l'Abbé De La Caille introduce correcciones y afirma que ha recalculado tales tiempos y que estos difieren de los del padre Feuillée (l'Abbé De La Caille, 1751: 130).

A mi juicio la explicación de por qué no se publicó el diario del padre Feuillée fue debido a los diversos factores señalados. Entre ellos y para mí el más importante fue el cambio de modelo cosmográfico de la Tierra, desde la concepción esférica al *sphéroïde applati*. Louis Feuillée no vivió lo suficiente, pues murió en 1732, para ver resuelta la polémica y publicado su informe. Sin embargo, los miembros de la Academia valoraron en su justa medida los datos básicos de las observaciones astronómicas por él aportadas y las utilizaron para recalcular las posiciones geográficas de los lugares por él visitados y redactar el informe final del viaje materializado en el *Extrait* de l'Abbé De La Caille.

## REFERENCIAS

- BOUGHER, M., 1749. *La figure de la Terre, déterminée par les observations de Messieurs Bouguer, & de la Condamine, de l'Académie Royale des Sciences, envoyés par ordre du Roy a Pérou, pour observer aux environs de l'Equateur*, Paris, Chez Charles-Antoine Jombert, Libraire du Roy.
- BROWN, L. A., 1979. *The Story of Maps*, New York, Dover Publications Inc.
- CASSINI, M., 1719. De la grandeur de la Terre et de sa figure. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, Année 1718*: 245-256.
- [CASSINI, J.], 1720. De la grandeur et de la figure de la Terre. *Suites des Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, 1718*: 237-245.
- CASSINI, M., 1740. *Tables astronomiques du soleil, de la lune, des planetes, des étoiles fixes et des satellites de Jupiter et de Saturne ; avec l'explication & l'usage des ces mêmes tables*, Paris, De l'imprimerie Royale.
- CASSINI le fils, M., 1704. Extrait des Observations Astronomiques, que le R.P. Feuillée Minime a faites en Levant pendant les années 1700 & 1701, rapportées par. *Mémoire de l'Académie Royale des Sciences, Année 1702*: 7-15.
- CASSINI le fils, M., 1706. Extrait des Observations faites à la Martinique par le P. Feuillée en 1703 & 1704. Comparées aux Observations qui avoient été déjà faites en cette Isle par Mrs des Hayes & du Glos. Et à celles qui ont été faites en même tems à l'Observatoire Royal. *Mémoire de l'Académie Royale des Sciences, Année 1704*: 338-345.
- CASSINI le fils, M., 1709. Extrait des Observations faites aux Indes Occidentales en 1704, 1705, & 1706 par le P. Feuillée Minime, Mathématicien du Roy; comparées à celles qui ont été faites en même temps à l'Observatoire Royal. *Mémoire de l'Académie Royale des Sciences, Année 1708*: 5-16.
- Éloge de M. l'Abbé De La Caille, 1764. *Histoire de l'Académie Royale des Sciences, Année 1762*: 196-212.
- Éloge de M. Cassini [J], 1762. *Histoire de l'Académie Royale des Sciences, Année 1756*: 134-146.
- Éloge de M. Maraldi [J.P.], 1731. *Histoire de l'Académie Royale des Sciences, Année 1729*: 116-120.
- FEUILLÉE, L., 1714. *Journal des observations physiques, mathématiques et botaniques: faites par l'ordre du roy sur les côtes Orientales de l'Amérique Méridionales, & dans les Indes Occidentales, depuis l'année 1707 jusques en 1712*, Paris, Chez Pierre Giffart.
- FEUILLÉE, L., [1724, Ms 38]. *Voyage aux Isles Canaries ou Journal des observations Physiques, Mathématiques, Botaniques e Historiques faites par ordre*

*de Sa Majesté*, París, Bibliothèque Centrale du Muséum National d'Histoire Naturelle.

FEUILLÉE, L., 1724, [Fr 12222]. *Voyage aux Isles Canaries ou Journal des observations Physiques, Mathématiques, Botaniques e Historiques faites par ordre de Sa Majesté*, París, Bibliothèque National.

FEUILLÉE, L., 2006. *Viaje a las Islas Canarias o Diario de las observaciones físicas, matemáticas, botánicas e históricas hechas por orden de Su Majestad, 1724*. Traducción del Ms 38 realizada por Dulce María Gonzáles Doreste y Antonio Álvarez de la Rosa. En A. Herrera Piqué (ed.), *Pasión y Aventura en la Ciencia de las Luces*. Tomo II, Las Palmas de Gran Canaria, Ediciones del Cabildo de Gran Canaria.

GARCÍA FRANCO, S., 1947. *Historia del Arte y Ciencia de Navegar. Desarrollo histórico de los 'cuatro términos' de la Navegación*. Dos volúmenes, Madrid, Instituto Histórico de la Marina.

HERRERA PIQUÉ, A., 2006. *Pasión y Aventura en la Ciencia de las Luces*, Tomos I y II, Las Palmas de Gran Canaria, Ediciones del Cabildo de Gran Canaria.

HOMET, J-M., 1982. *Astronomie et Astronomes en Provence 1680-1730*, Aix-en-Provence, Edisud.

LA CAILLE, M. L'Abbé De, 1751. Extrait de la Relation du voyage fait en 1724, aux isles Canaries, par le P. Feuillée Minime, pour déterminer la vraie position du premier Méridien. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, Année 1746*: 129-150.

LAFUENTE, A. y A. MAZUECOS, 1987. *Los Caballeros del punto fijo. Ciencia, política y aventura en la expedición geodésica hispanofrancesa al virreinato del Perú en el siglo XVIII*, Barcelona, Ediciones del Serbal y Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

LE MONNIER le fils, M., 1745. Sur la Longitude de l'Isle de Bourbon, *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, Année 1742*: 347-353.

LE MONNIER le fils, M., 1745. Remarques sur les Observations astronomiques faites aux Canaries en 1742 par le P. Feuillée, Minime, en Sur la Longitude de l'Isle de Bourbon, *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, Année 1742*: 350-352.

LE MONNIER le fils, M., 1745. Latitude du Bourg de l'Isle de Fer, en Sur la Longitude de l'Isle de Bourbon, *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, Année 1742*: 352-353.

LE SECRETAIRE, M., 1745. Sur la difference des Méridiens entre l'Observatoire Royal de Paris, l'Isle de Fer & quelques autres lieux, & sur la Longitude de l'Isle de Bourbon, *Histoire de l'Académie Royale des Sciences, Année 1742*: 112-115.

Liste de Messieurs de l'Académie Royale des Sciences, depuis l'établissement de cette Compagnie en 1666 jusqu'en 1733. *Histoire de l'Académie Royale des Sciences, depuis 1686 jusqu'à son Renouveau en 1699*. Tome II, Paris, Chez G. Martin, J.B. Coignard fils & H.L. Guerin, rue S. Jacques.

MARALDI, M., 1745. De la différence des Méridiens entre l'Observatoire Royal de Paris, l'Isle de Fer & quelques autres lieux, *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, Année 1742*: 121-130.

MARALDI, M., 1749. *Connoissance des Temps pour l'année 1750 au méridien de Paris*, Paris, De l'Imprimerie Royale.

MONTESDEOCA, A., 2006. «Notas sobre la determinación de la altura del Teide hecha por Feuillée». En A. Herrera Piqué (ed.), *Pasión y Aventura en la Ciencia de las Luces*. Tomo II: 581-596.

*Tablas de los logarithmos de los senos, tangentes, y secantes, suponiendo el radio dividido en 100000000 de partes*<sup>41</sup>, 1814, Barcelona, en la imprenta de Antonio Brusi.

TOOLEY, R.V., 1979. *Dictionary of Mapmakers*. Map Collector Publications Limited. Tring, Hertfordshire.

VARIN, DES HAYES y DE GLOS, Mrs., 1729. Voyages au Cap Verd, en Afrique & aux Isles de l'Amérique, *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, depuis 1666 jusqu'à 1699*. Tome VII, partie II: 431-459.

Mi agradecimiento al personal de la Biblioteca Central de Marina y Museo Naval (Madrid), por su inestimable colaboración en la búsqueda de la bibliografía que ha posibilitado este trabajo.

<sup>41</sup> Hay un error en la cifra. El radio del círculo está dividido en  $10^{10}$  partes como fácilmente se comprueba por simple inspección de las tablas en el valor correspondiente a  $\log_{10} 90^\circ$  que es igual a 10.