

JOSÉ JOAQUÍN FERRER CAFRANGA (1763-1818), «SABIO ASTRÓNOMO ESPAÑOL»: MEMORIAS ASTRONÓMICAS, GEOGRÁFICAS Y METEOROLÓGICAS

OFELIA L. GUTIÉRREZ SOSA
Cátedra de Cultura Científica «Padre Félix Varela»
Universidad de La Habana (Cuba)

Resumen

El presente artículo resume el análisis crítico de la obra de José Joaquín Ferrer Cafranga, a partir de la revisión de sus trabajos originales publicados a finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX. La atención está centrada en sus investigaciones geográfico-astronómicas y meteorológicas, en las que se destacan importantes descubrimientos que le valieron el calificativo de «*sabio astrónomo español*» en círculos de elevado prestigio científico en su época, tanto en Europa como en América.

Los detalles de su vida personal tienen como fuente su más completa biografía, publicada en 1838 por Antonio Alcalá Galiano, quien le conoció personalmente. Pese a que Ferrer Cafranga fue una personalidad científica muy reconocida, cuya obra sentó los fundamentos de la meteorología planetaria que surgió en el siglo XX, su figura cayó en el olvido. Este trabajo valora algunas de las circunstancias en la vida de Ferrer Cafranga que podrían ayudar a entender tan enigmática contradicción.

Abstract

The present article is a critical analysis regarding José Joaquín Ferrer Cafranga's work, after revising his original scientific publications from the late 18th century to the beginning of the 19th century. Attention has been centered on his geographical, astronomical and meteorological researches, which led him to so valuable scientific discoveries that he was known as «*wise Spanish astronomer*» in prestigious scientific societies from America and Europe in his time.

The source for details on Cafranga's life is a most complete biography, published in 1838 by Antonio Alcalá Galiano, who met him personally. Nevertheless, despite Cafranga being a highly recognized scientist, whose scientific production even contributed to Planetary Meteorology arising in the 20th century, his figure has been ignored in the last two centuries. This paper includes some appraisal of the circumstances in Ferrer Cafranga's life, which could help to understand such an enigmatic contradiction.

Palabras clave: Astronomía, Geografía astronómica, Meteorología, Corona solar, Cuba, EE.UU. de América, Siglos XVIII-XIX, J.J. Ferrer Cafranga.

Keywords: Astronomy, Astronomical Geography, Meteorology, Planetary Meteorology, Solar corona, Cuba, United States of America, 18th-19th Centuries, J.J. Ferrer Cafranga.

Recibido 22 de febrero de 2015 - Aceptado 20 julio de 2015

El presente trabajo tiene el propósito de dar a conocer los resultados del análisis crítico de la obra del extraordinario científico español José Joaquín Ferrer Cafranga, desconocido por la mayoría de los astrónomos y meteorólogos del mundo durante más de doscientos años. Se centra la atención en el análisis de diversos informes científicos publicados por el astrónomo, en los que se estudia el problema o finalidad de cada trabajo, se investiga el método de cálculo y observacional y se fundamenta la trascendencia histórica de los resultados publicados en el contexto de la época y en el marco de las ciencias: la astronomía, la meteorología y la geodesia.

El trabajo ha sido estructurado del siguiente modo:

La primera sección ofrece una panorámica general de la vida del sabio sin pretender adentrarnos en su biografía —muy bien narrada por Antonio Alcalá Galiano [1838]—, pero poniendo ante el lector algunos elementos que ayudan a comprender el hecho de que, habiendo sido un comerciante, deba ser considerado el eminente científico de talla universal que fue. Se destacan sus primeras investigaciones a finales del siglo XVIII y la relevancia histórica de las mismas, sin adentrarnos en su análisis —que se hace en la siguiente sección—, al objeto de poner de relieve la dimensión científica de la personalidad que nos ocupa.

En la segunda sección se analiza cada uno de los informes escogidos, sin seguir un orden cronológico, mediante la revisión detallada de los procedimientos del cálculo astronómico y las innovaciones que Ferrer Cafranga introduce en sus observaciones astronómicas, de manera que se resalta no solo el problema cuya solución aborda, sino la novedad científica siempre que está presente. En esta sección los trabajos se clasifican en tres grupos: Astronomía Geodésica, Astronomía y Meteorología.

Finalmente, en la tercera sección se analizan las posibles causas que debieron dar origen a la inmensa contradicción del anonimato de la figura de Ferrer Cafranga por más de dos siglos.

1. UNA MIRADA PANORÁMICA A LOS INICIOS DE LA VIDA DE FERRER CAFRANGA COMO HOMBRE DE CIENCIAS

José Joaquín Ferrer Cafranga nació en Pasajes de San Juan, Guipúzcoa, el 26 de Octubre de 1763. Desarrolló una carrera tan intensa y productiva en el orden científico, como vertiginosa y breve, pues falleció de una enfermedad repentina cuando

apenas contaba 54 años de edad¹. Motivado por una profunda vocación investigativa y talento para las matemáticas y la astronomía, estudió estas disciplinas en la ilustrada Inglaterra de aquellos tiempos, con notables progresos en la aplicación de las matemáticas al cálculo astronómico. Ello permitió que dominase desde muy joven el arte de la navegación y la astronomía náutica. Pero, aunque hizo carrera de comerciante siguiendo la decisión de su padre, supo aprovechar sus reiterados viajes a América con la Real Compañía Guipuzcoana de Caracas y más tarde con la de Torres y Hermanos para realizar las investigaciones científicas que siempre despertaron su mayor interés. Fue así como tuvo la posibilidad de investigar y obtener las coordenadas geográficas de varias posiciones en España [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 21] y en numerosos países de América y del Caribe, dentro de los cuales México, el archipiélago cubano y los Estados Unidos ocuparon un lugar preponderante por el alto número de posiciones investigadas y por la elevada exactitud de las coordenadas obtenidas, lo que se presenta y analiza en este artículo. Realizó investigaciones astronómicas y meteorológicas muy originales, conjuntamente con sus trabajos geográficos, de modo que su obra en conjunto puede ser considerada patrimonio de la memoria histórica de la astronomía, la geografía astronómica y la meteorología.

Entre los primeros trabajos de alto valor cartográfico realizados en territorio americano están las mediciones y cálculos de las coordenadas geográficas y alturas de picos notables, investigados durante la expedición a Veracruz organizada por la Compañía Torres y Hermanos alrededor del año 1790 [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 12]. Con solo 27 años de edad, el joven de Pasajes fue designado al frente de esta expedición mercantil y, sin descuidar los intereses de la Compañía, se enfrascó en la determinación de las alturas absolutas de picos tan notables como el Orizaba, el Encero, Xalapa y Perote, elevaciones obtenidas a partir de varias mediciones de sus alturas angulares desde posiciones en la mar, lo que le permitió registrar valores promedios muy exactos [ALCALÁ GALIANO, 1838, pp. 11-12]. Los resultados de estas investigaciones figuran en prestigiosas publicaciones como *Connaissance des Temps*, del Bureau de Longitudes de Francia, y *Transactions of the American Philosophical Society* de Philadelphia (EE.UU.), entre otras publicaciones científicas. También existen informes de Cafranga en diferentes registros oficiales, como las Memorias del Tomo 3 del *Depósito Hidrográfico de la Marina* [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 43].

A su regreso a Cádiz, el joven navegante se vinculó estrechamente al observatorio de Greenwich y al Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando como colaborador, donde estableció no solo relaciones de trabajo sino lazos de amistad con algunas figuras de reconocidos méritos científicos y militares, entre ellos Churruca², Galiano³ y José de Mazarredo [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 12]. Esta etapa debió ser, sin dudas, muy importante en el desarrollo de la carrera de Cafranga como científico, lo que posteriormente le permitió hacer valiosas contribuciones al conocimiento geográfico del Nuevo Mundo, a la astronomía y a la meteorología.

En el año 1799 el «*hábil navegante*» —como lo llamó Alexander von Humboldt [HUMBOLDT, 1974, p. 113]— partió hacia los Estados Unidos a cargo de varias misiones mercantiles de la Compañía Torres y Hermanos, de modo que estableció su residencia en Nueva York durante varios años. Desde allí se trasladó a diferentes territorios de la América Septentrional y del Caribe para realizar las negociaciones comerciales encomendadas por la compañía, así como numerosas observaciones astronómicas y meteorológicas [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 13]. Es, a nuestro modo de ver, en este preciso momento cuando el joven pasaitarra comienza la etapa más productiva y extraordinaria de su vida como hombre de ciencia, cuando sus trabajos le permitieron desarrollar el conocimiento más exacto de numerosas posiciones geográficas de interés para la navegación y el comercio y realizar aportes científicos trascendentes que se tratarán más adelante. A solo dos años de su llegada a Nueva York, el 17 de abril de 1801, fue nombrado miembro de la *American Philosophical Society* en reconocimiento a su labor de rectificación de las coordenadas geográficas erróneas de algunos lugares en ese territorio y a la obtención de otras coordenadas de interés cartográfico que nunca antes habían sido medidas [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 13]. Todos estos trabajos fueron publicados en el Volumen VI de *Transactions of the American Philosophical Society*, en el número correspondiente al año 1809 (Fig. 1).

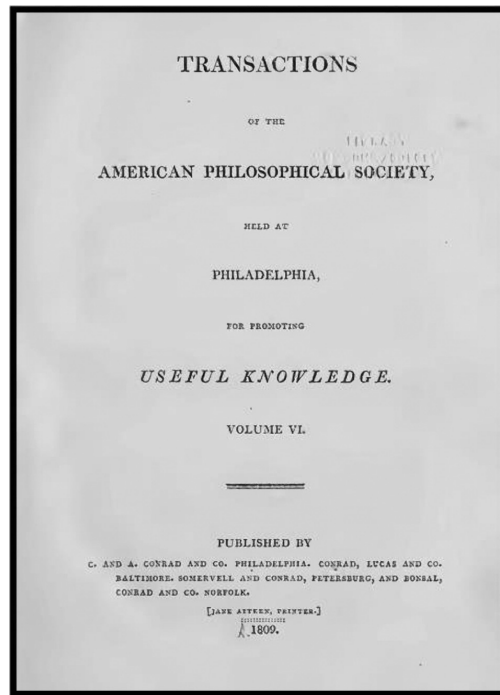


Figura 1.

En *Connaissance des Temps* del año 1817, Dominique François Arago⁴ reconoció al astrónomo de Pasajes como una autoridad en la determinación de posiciones geográficas [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 15], que obtenía mediante rigurosas observaciones astronómicas de eclipses y ocultaciones de estrellas, todas ellas dadas a conocer en sus informes.

En general, una parte importante de los trabajos astronómicos y meteorológicos de Ferrer Cafranga fue publicada en *Connaissance des Temps* del año 1817 (Fig. 2), así como en el volumen VI de *Transactions of the American Philosophical Society* (1809). Este último recoge los informes de las mediciones geográfico-astronómicas que realizó en sus primeras expediciones a América de finales del siglo XVIII y comienzos del XIX. Alcalá Galiano [1838, p. 14] destaca que, a raíz de la publicación de sus trabajos en este volumen, el prestigio de José Joaquín Ferrer se multiplicó en tal grado que de inmediato su nombre pasó a ser mencionado y celebrado en Francia, Alemania, Inglaterra e Italia, por figuras como Lalande, Delambre, Arago y Volney en Francia y el Barón de Humboldt en Prusia, entre otros eminentes científicos con quienes sostuvo regular correspondencia desde de entonces.

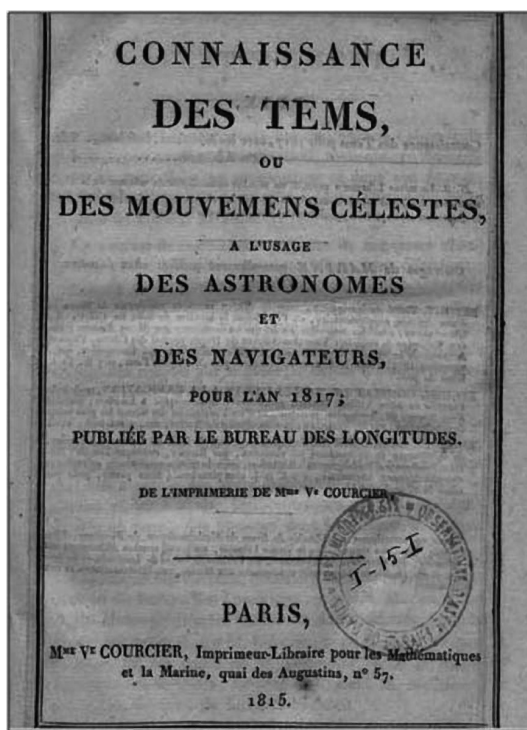


Figura 2.

2. ANÁLISIS CRÍTICO DE SU OBRA CIENTÍFICA

A continuación se resumirá el análisis de la obra de José Joaquín Ferrer Cafranga, a partir de una selección de aquellas publicaciones que evidencian los resultados científicos más novedosos y de mayor trascendencia histórica.

En uno de sus trabajos publicados en *Connaissance des Temps*, titulado *Positions géographiques de différens points de l'Amérique septentrionale*, Ferrer Cafranga da a conocer las nuevas coordenadas geográficas de diversas posiciones en la isla de Cuba, país que encabeza la lista de territorios investigados geográficamente [FERRER CAFRANGA, 1815a, pp. 320-321], datos correspondientes a sitios muy importantes estratégica y comercialmente, como eran el observatorio de La Habana, el *fanal* del Morro y los Castillos del Príncipe y de Atarés (Figs. 3a, 3b). El trabajo incluye las coordenadas de numerosas posiciones a lo largo de toda la isla y de su cayería, así como de la América Septentrional, muchas de ellas especialmente importantes para el comercio y la navegación. Las latitudes están expresadas como alturas angulares de la Estrella Polar sobre el horizonte, en franca alusión al método astronómico empleado para su determinación. Las longitudes geográficas están referidas al meridiano de París (Fig. 3a).

Como resultado de la revisión de estos informes se puede comprobar que la longitud geográfica de la entrada a la Bahía de La Habana (*fanal* del Morro) —84°42'44" al oeste de París— que aparece en el número de la publicación *Connaissance des Temps* del año 1815 fue incorporada al catálogo que incluyó Humboldt en su *Ensayo político sobre la isla de Cuba*, ajustada en 25.5 segundos. Ello se debe a que el valor promedio de la longitud geográfica del *fanal* del Morro, algo desplazado hacia el oeste de su verdadera posición, quedaba mucho más exacto cuando se omitían las longitudes calculadas a partir de dos eclipses de sol que formaban parte del conjunto

Année 1817. (300)

précédent ne nous éclaircit pas sur les causes de ces apparences, elles nous donnent du moins la valeur exacte des deux classes de diamètre de la lune. La quantité dont ces deux diamètres diffèrent, est ce qu'on a nommé *irradiation* ou *inflexion*. Jusqu'à présent on n'en avait trouvé la valeur que par la comparaison des diamètres, déduits des occultations d'étoiles ou d'éclipses de soleil, avec des mesures micrométriques directes, et l'on sait que ces dernières sont sujettes à beaucoup d'incertitude.

Paris, le 25 juin 1814.

FERRER.

Positions géographiques de différens points de l'Amérique septentrionale;

PAR DON JOSE JOAQUÍN DE FERRER.

Isle de Cuba.	Hauteurs du pôle.	Longitude à l'occident de Paris.
Havane, Observatoire.....	23° 08' 16" 1	84° 42' 20"
Fanal del Morro (fanal du Morro).....	23° 09' 24,3	84° 42' 44
Castillo del Príncipe [Hasta Bandera].....	23° 08' 13,7	84° 44' 27
Castillo de Atarés [Hasta Bandera].....	23° 07' 36,9	84° 46' 57
Cruz dela loma del Indio (Croix de la colline de l'Indien).....	23° 07' 42,2	84° 44' 34

Figura 3a.

(301) Année 1817.

Punta de Guanaco.....	23° 09' 27"	84° 4' 52"
Lo mas sur de Bahía Honda [Potrero de Madrazo] (le point le plus méridional de la baie profonde).....	22° 56' 07"	85° 32' 10
Morillo de idem.....	22° 59' 00"	85° 30' 52
Punta de pescadores, lo mas N. y O. (Pointe des Pêcheurs).....	22° 59' 06"	85° 31' 59
Punta real (Pointe royale).....	22° 58' 54"	85° 31' 54
Pan de Guasaibon.....	22° 47' 31"	85° 44' 13
Yupendo de Ascarate.....	23° 00' 44"	84° 26' 47
Cabo de Cruz (Cap de la Croix).....	19° 47' 18"	80° 4' 15
Pico de Tarquino.....	19° 52' 57"	79° 11' 45
Cabo bueno (Cap bon).....	20° 06' 10"	78° 33' 55
Cabo Maini.....	20° 16' 40"	78° 30' 25
Punta de Mulás.....	21° 04' 35"	77° 58' 55
<i>Canal Vieja (Canal Vieux).</i>		
Cayo Verde.....	22° 05' 06"	79° 53' 55
Cayo de Confites.....	21° 11' 44"	80° 4' 18
Cayo de Lobos.....	22° 24' 50"	79° 58' 8
Cayo de Guinchos.....	22° 44' 00"	80° 24' 25
Cayo Santa-Maria.....	22° 39' 24"	81° 16' 13
<i>Canal de Bahama.</i>		
Cayo largo, punta N.E.....	24° 57' 50"	84° 58' 35
Punta S.E.....	24° 52' 00"	84° 56' 41
Costa dela Florida.....	27° 10' 00"	82° 28' 35

Figura 3b.

de valores a promediar, de modo que se decidió considerar en el promedio únicamente las longitudes obtenidas durante 16 ocultaciones de estrellas reportadas por Ferrer⁵, para determinar las coordenadas del Morro. Humboldt resalta en el citado ensayo la exactitud de estas observaciones, en las que las desviaciones de las longitudes geográficas obtenidas por Ferrer Cafranga no sobrepasaron el segundo [HUMBOLDT, 1974, p. 57]. El nuevo valor de la longitud geográfica del Morro, 84°42'18.5" al oeste del meridiano de París, estuvo vigente por más de 50 años en las cartas de navegación y catálogos de la Comisión Hidrográfica de las Antillas y del Observatorio Naval de los Estados Unidos [GONZÁLEZ, 1993, p. 496], hasta que en 1868 ambas entidades se enfrascaron en el proyecto conjunto de rectificar las coordenadas del Morro a partir de la instalación de un cable telegráfico tendido entre un punto cercano a aquel y la Florida.

2.1. Astronomía geodésica

2.1.1. Memoria de la Ocultación de Aldebarán por la luna el 21 de octubre de 1793

El informe recoge un estudio riguroso de la ocultación Aldebarán por la luna, con el objetivo de determinar las coordenadas geográficas de Puerto Rico [FERRER CAFRANGA, 1809a, p. 213]. El astrónomo de Pasajes analizó observaciones realizadas desde El Ferrol, Gotha, Dantzig, París, Marsella, y Berlín, así como los cálculos de la ocultación y la determinación del semidiámetro lunar a partir de los tiempos de la ocultación efectuados por diferentes observadores. Finalmente propuso los valores de algunos elementos en los cálculos astronómicos a fin de obtener la longitud geográfica con la mayor exactitud posible para la época.

La determinación de la longitud geográfica mediante la observación de ocultaciones astronómicas o eclipses era un método conocido con anterioridad al siglo XVIII. En 1610 Galileo había propuesto la observación de las ocultaciones de los satélites de Júpiter, recién descubiertos por él, para determinar la longitud geográfica en alta mar⁶, y ya en la segunda mitad del siglo XVII en América y especialmente en La Habana, el notable médico andaluz, Lázaro de Flores, había efectuado la primera determinación de la longitud geográfica en Cuba de la que se tenga noticias, a partir de una ocultación: la observación del eclipse de luna del 21 de febrero de 1663 [FLORES, 1673, IX, p. 297].

Cuarenta años antes de la ocultación de Aldebarán en octubre de 1793, el conocido matemático suizo, Leonhard Euler, había publicado en las memorias de la Academia de Ciencias de Berlín un método para la determinación de la longitud geográfica a partir de las observaciones de estrellas fijas ocultadas por la luna y, por los cálculos en este y en otros informes, puede considerarse que el método de Euler [1749] fue el que debió seguir Ferrer Cafranga en sus trabajos. Todo lo anterior indica que la novedad de su aporte en esta ocasión no está dada por el método astronó-

mico propiamente, que ya era conocido, sino por los elementos astronómicos, nuevas ideas y consideraciones teóricas que introdujo a fin de elevar la exactitud del cómputo de la longitud geográfica, como veremos a continuación.

El método de Euler [EULER, 1749] abordaba el problema de obtener la longitud geográfica de una posición a partir del cálculo de la diferencia de longitudes entre dos lugares desde los que se observa la ocultación de una misma estrella por la luna, siendo la longitud de uno de los dos lugares muy bien conocida. Normalmente se escogía algún meridiano importante, como el de París, el de Greenwich, o el de Cádiz. Con esta diferencia se obtenía la longitud geográfica de la posición de interés de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\lambda = H_1 - H_r + (\alpha_1 - \alpha_r) / \Delta\alpha$$

H_1 Instante de la observación en el sitio de interés

H_r Instante de la observación en el sitio de referencia

α_r Ascensión recta de la luna para la observación en el lugar de referencia

α_1 Ascensión recta de la luna para la observación en el lugar de interés

$\Delta\alpha$ Variación horaria de la ascensión recta

λ Longitud geográfica

La ecuación brinda como resultado la longitud geográfica expresada en horas que luego habría que llevar a grados. La ascensión recta⁷ y su variación horaria se obtendrían de las efemérides astronómicas publicadas para el año en curso. A partir del método descrito con anterioridad, el astrónomo pasaitarra hizo un análisis cuidadoso de las observaciones reportadas por diferentes astrónomos y geógrafos desde diferentes lugares del mundo, entre ellos y en primer lugar, Cosme Churrua⁸, capitán brigadier de la Armada Real, quien hiciera las observaciones desde la capital de Puerto Rico; don Manuel Herrera, teniente de la Marina, quien hizo sus observaciones desde el observatorio de El Ferrol, en la provincia de La Coruña; Pierre Méchain, reconocido astrónomo y geógrafo francés, quien observó la ocultación desde Figueras, en Gerona; y otras observaciones desde los observatorios de París, Marsella y Dantzig. Especial significación tenían los cálculos de la longitud geográfica de Puerto Rico realizados por el astrónomo jesuita austríaco Triesnecker, el notable astrónomo francés Lalande y el citado teniente Méchain.

Ferrer Cafranga se propuso analizar las observaciones reportadas y comparar los resultados obtenidos por diferentes astrónomos y geógrafos con los cálculos de la longitud geográfica de Puerto Rico realizados por él. En este informe se hace saber que había considerado anteriormente los semidiámetros del geoide en la proporción 229:230 —de acuerdo con la teoría de Newton— y la paralaje horizontal⁹ de la luna en París 57' 44.8". Al haberse verificado por aquellos tiempos que la proporción entre el semieje polar y el ecuatorial era de 333:334 y que la paralaje desde París era de 57' 36.8" [FERRER CAFRANGA, 1809a, p. 213], Ferrer Cafranga decidió calcular la

longitud geográfica de Puerto Rico nuevamente con estos elementos, y obtuvo el valor de $4^{\text{h}} 33^{\text{m}} 52^{\text{s}}$. Este resultado lo llevó a la idea de que la longitud más exacta era la obtenida por Triesnecker, $4^{\text{h}} 33^{\text{m}} 58.6^{\text{s}}$. A partir de esta conclusión se adentró en un análisis muy valioso para la astronomía y la geodesia de aquellos tiempos, al plantear la importancia conjunta que tenían los valores de la paralaje lunar y de la adecuada relación entre los semiejes terrestres sobre el cálculo de la longitud geográfica, en este caso la de Puerto Rico. Declaró la relevancia del método de obtención de la longitud a partir de la diferencia entre los meridianos, mediante las observaciones de una misma ocultación, lo que a su vez, permitiría calcular la proporción entre los semiejes terrestres (el proceso inverso), incluso con mayor exactitud que por el método geodésico de entonces y con ello determinar la paralaje lunar¹⁰ [FERRER CAFRANGA, 1809a, p. 214].

El astrónomo guipuzcoano estudió las paralajes obtenidas por Laplace, Lalande y Burg, optó por el valor que obtuvo este último y calculó la diferencia de latitudes en la conjunción a partir de las observaciones realizadas desde diferentes meridianos, con diferentes valores de la inflexión al paso del centro de la luna por el norte de Aldebarán. Al notar algunas diferencias, aunque muy pequeñas, decidió analizar con mayor profundidad la influencia de la inflexión sobre el error en el semidiámetro lunar y de esta forma definió finalmente los valores de estos elementos para calcular la longitud geográfica con la mayor exactitud posible. Ferrer Cafranga incluyó en el informe un cuadro resumen de las observaciones de la ocultación de Aldebarán por la luna desde diferentes lugares del mundo, en el que se registran las inflexiones y las diferencias de latitudes obtenidas para cada inflexión [FERRER CAFRANGA, 1809a, p. 219].

Finalmente, el astrónomo español planteó que si se hubiera supuesto una disminución de la paralaje solar horizontal de $4''$, como proponía Laplace, el incremento en la longitud de Puerto Rico habría sido de $8,5''$ y su valor $4^{\text{h}} 33^{\text{m}} 59.7^{\text{s}}$ lo que, al ser comparado con la longitud obtenida por Triesnecker ($4^{\text{h}} 33^{\text{m}} 58,6^{\text{s}}$) permitía ver que las variaciones en los elementos de cómputo astronómico no habían tenido influencia sensible sobre la diferencia de meridianos entre las observaciones realizadas en Europa, de ahí que Cafranga concluyese que los resultados reportados tenían la mayor exactitud que era posible [FERRER CAFRANGA, 1809a, p. 221].

2.1.2. Posición geográfica de diferentes lugares en Norteamérica y las Indias Occidentales

Los resultados de las observaciones astronómicas en Norteamérica y las Indias Occidentales durante varios años para calcular los valores de las longitudes geográficas de sitios de interés como Puerto Rico, Veracruz, y La Habana, entre otros, están recogidos en un amplio trabajo publicado en *Transactions of the American Philosophical Society* (1809). De este compendio analizaremos una selección.

2.1.2.1. Longitud geográfica de Puerto Rico

Los intentos del pasaitarra por aumentar la exactitud de las coordenadas de Puerto Rico no concluyeron con las observaciones de la ocultación de Aldebarán de 1793. En el primer trimestre del año 1796, mediante la medición de las distancias aparentes entre la luna y el sol y entre la luna y algunas estrellas fijas, obtuvo un nuevo valor para la longitud geográfica de Puerto Rico [FERRER CAFRANGA, 1809b, p. 222]. Este método todavía se empleaba a finales del siglo XVIII: en lugar de la hora se medían los ángulos horarios calculados a partir de las distancias angulares entre la luna y el sol y entre la luna y algunas estrellas, dada la carencia de relojes con la exactitud necesaria para el cálculo de la longitud geográfica.

Con un total de 20 mediciones de las distancias aparentes entre la luna y el limbo del sol más próximo, en fechas y horas diferentes, se obtuvo para la longitud de Puerto Rico el valor de $4^{\text{h}} 33^{\text{m}} 56^{\text{s}}$, corrección que difiere en poco más de dos segundos del resultado a partir de la ocultación de Aldebarán del 21 de octubre de 1793.

2.1.2.2. Ocultación de Júpiter por la luna, 15 de Enero de 1799

En este caso se observó la ocultación de Júpiter por la luna desde diferentes posiciones geográficas de forma simultánea para obtener las longitudes de New Orleans, Puerto Rico, Nuevo Veracruz, y La Habana, entre otros lugares [FERRER CAFRANGA, 1809b, pp. 223-224]. Andrew Ellicot fue el observador en New Orleans, Julián Ortiz Canelas en el Real Observatorio de la Isla de León y Pierre Méchain en el Observatorio Nacional de París. A partir de la hora de inmersión y emersión del centro y del limbo de Júpiter reportados por los astrónomos antes citados, con el uso de los datos recogidos en las tablas astronómicas para la hora aparente de la ocultación en París y dada la proporción 333:334 para los semidiámetros del geoide, Cafranga obtuvo que la longitud geográfica de New Orleans era $6^{\text{h}} 09', 46''$ al oeste de París. Dada la latitud que se reporta en el informe puede inferirse que la posición en New Orleans debió de estar próxima a lo que hoy se conoce como Wills Point, en la orilla Este del río Mississippi.

2.1.2.3. Determinación de las coordenadas de Nueva Veracruz

En [FERRER CAFRANGA, 1809b, p. 223] vemos una tabla con los resultados de las observaciones de las distancias entre los limbos más cercanos de la luna y el sol, el limbo más cercano de la luna a la estrella alfa de la constelación del Águila, y la distancia desde el limbo más próximo de la luna a la alfa de Tauro. Esta investigación fue realizada entre septiembre y diciembre de 1792, y el resultado obtenido para la longitud geográfica de Nueva Veracruz fue de $6^{\text{h}} 33^{\text{m}} 43^{\text{s}}$ al oeste de París. Las observaciones se repitieron tres años después usando el mismo procedimiento pero diferentes estrellas, especialmente en los meses de agosto y octubre de 1795, mediante 26 series de distancias lunares y la ocultación de la estrella Omicron de Sagitario por la luna, así como también la ocultación de un satélite de Júpiter. El promedio de las

mediciones para la longitud geográfica de New Veracruz dio un valor de $6^{\text{h}} 33^{\text{m}} 40.9^{\text{s}}$ al oeste de París [FERRER CAFRANGA, 1809b, p. 224].

2.1.2.4. Determinación de la longitud geográfica de La Habana

El 8 de agosto de 1795 Cafranga se enfrascó en la determinación de la posición geográfica de La Habana relativa a Veracruz, cuando ya había investigado e incluso reajustado el valor de la longitud de esta ciudad mexicana por aquellos días, lo que le permitiría obtener mas tarde la longitud de La Habana relativa al meridiano de Greenwich [FERRER CAFRANGA, 1809b, p. 224]. Esta vez Cafranga se apoyó en las observaciones del insigne marino, astrónomo y militar español Cosme Churruca¹¹, quien desde La Habana observó la emersión del Satélite I de Júpiter¹², mientras que Cafranga observaba el mismo fenómeno desde Veracruz. Con el desarrollo tecnológico de imágenes digitales y computarizadas del cielo pude encontrar el satélite joviano cuya ocultación fue observada por Cafranga y Churruca, imposible de identificar por ellos. Con el empleo de un planetario profesional¹³ hallamos que la luna de Júpiter citada en el informe como Satélite I fue *Io* (Fig. 4), que es una de las lunas interiores y la mas próxima al planeta aquella noche. Hasta la fecha no he encontrado ningun trabajo en el que se haga referencia a esta identificación¹⁴.

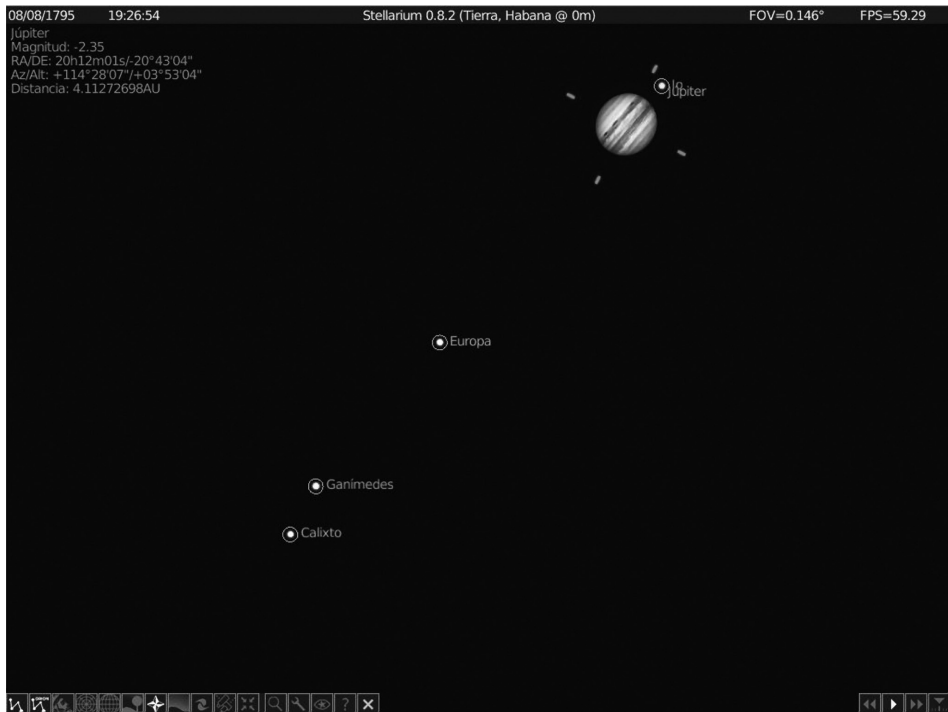


Figura 4.

Los resultados revelaron que la diferencia de longitudes entre La Habana y Veracruz era de $55^m 04^s$, equivalente a 0.918 horas, lo que implicaba —al estar Veracruz al oeste de La Habana— que la longitud geográfica calculada para esta ciudad cubana sería $5,488^h$, resultado de la diferencia entre la longitud de Veracruz relativa a Greenwich (6.406^h) y la diferencia de longitudes entre La Habana y Veracruz (0.918^h). Al llevar la diferencia horaria a grados y fracción, como era costumbre expresar las longitudes y sus diferencias, se obtiene que la longitud geográfica de La Habana relativa a Greenwich es $82^\circ 19' 12''$. Este resultado no corresponde a la entrada de la bahía de La Habana, pero puede referirse a Cojímar, donde existe un torreón para la defensa militar del litoral este de La Habana desde 1649 [CUEVAS, 2001, p. 30].

El 26 de enero del año 1800 Cafranga vuelve a obtener la longitud geográfica de La Habana, esta vez mediante la observación del Satélite I de Júpiter de forma simultánea desde La Habana y Vivier, al este de París. En [FERRER CAFRANGA, 1809b, p. 225] el astrónomo español reportó una longitud de $5^h 38^m 34^s$ para La Habana al oeste de París, y al hacer el cálculo relativo al meridiano de Greenwich llegó al valor siguiente:

$$5,643^h - 0.156 = 5,49^h \text{ es decir, } 82^\circ 21'$$

Este resultado se calculó a partir de los promedios entre La Habana y París, La Habana y Veracruz, y La Habana y Puerto Rico.

De nuevo con el empleo del planetario citado, se encuentra que el Satélite I de Júpiter al que hace referencia en el informe, no es *Io*, sino *Calisto*, la cuarta luna galileana. El movimiento orbital de las lunas alrededor del planeta hace que sus posiciones aparentes vistas desde la tierra no guarden relación con las distancias a las que se encuentran de Júpiter, de manera que *Calisto*, la más distante de las cuatro lunas, parece ser la más cercana a Júpiter hasta quedar oculta por dicho planeta la noche del 8 de agosto del año 1800, identificación imposible de realizar por los observadores. No hemos encontrado hasta ahora referencia alguna sobre esta identificación.

Humboldt escribe que en el período de 1806 a 1812, Cafranga y Antonio Robredo¹⁵ registraron en La Habana un número de ocultaciones de estrellas muy superior al observado hasta entonces en América [HUMBOLDT, 1974, p. 13], con lo cual se fijaba la posición del Morro de La Habana en los $84^\circ 42' 44''$, dato que posiblemente le fuera entregado por Ferrer Cafranga a Arago en junio de 1814 de tránsito por París [ARAGÓ, 1815, p. 339] y que es el valor que aparece publicado en *Connaissance des Temps* de 1815, ya citado en el presente trabajo¹⁶. A lo anterior debo añadir que Humboldt, en su *Ensayo Político sobre la Isla de Cuba*, da fe de que Cafranga entregó más tarde al señor Bauzá otras memorias más modernas en las que se fijaba la longitud geográfica del Morro en $84^\circ 42' 19''$ al oeste de París, suponiendo Cádiz a $8^\circ 37' 45''$ al oeste de París [HUMBOLDT, 1974, p. 13].

2.1.2.5. Ocultación del primer satélite de Júpiter por la luna, observado en Nueva Orleans y en el observatorio de la Isla de León, 15 de Enero de 1799

Ferrer Cafranga envió a la *American Philosophical Society* sus cálculos de coordenadas a partir de los resultados de las observaciones realizadas desde Nueva Orleans por Ellicot y en Cádiz por Ortiz de Canelas. Las mismas fueron realizadas con el objetivo de determinar las coordenadas geográficas de Nueva Orleans con un tipo de observación que no tenía antecedentes en la época. Por primera vez se obtuvo la longitud geográfica de una posición elegida a partir de la ocultación del Satélite I de Júpiter por la Luna [FERRER CAFRANGA, 1809b, p. 225]:

Esta determinación además de ser muy exacta, me parece que amerita atención, por ninguna otra razón como no sea que al parecer, es la primera vez que se ha deducido la longitud a partir de semejante tipo de observación, o al menos yo no he tenido conocimiento alguno de que se haya hecho anteriormente.

Ya se mencionó la propuesta de Galileo del año 1610 para hallar la longitud geográfica mediante la observación de los cuatro grandes satélites jovianos, ocultaciones que suceden múltiples veces al año, a diferencia de los eclipses de sol o de luna, mucho menos frecuentes. Esto hizo posible determinar la longitud de una manera más expedita, ya que no se debía esperar a un eclipse de sol o de luna para realizar las mediciones¹⁷. Pero el problema para determinar la longitud geográfica a partir de observaciones astronómicas seguía siendo la medición del tiempo, a fin de obtener la diferencia horaria relativa al meridiano escogido como referencia. En la segunda mitad del siglo XVIII el relojero inglés John Harrison había fabricado un cronómetro de alta precisión que permitía medir el tiempo con un error de 5 segundos de atraso en 81 días¹⁸. El problema de la determinación de la longitud geográfica quedaba así resuelto, pero de estos equipos, sumamente costosos, solo existían unos pocos en el mundo. Como alternativa a esta carencia Cafranga empleó el método de las distancias lunares lo que permitía, junto a la medición de la altitud del astro sobre el horizonte, conocer la hora y con ello la longitud geográfica.

Al reproducir el cielo de la noche del 15 de enero de 1799 visto desde Nueva Orleans y desde la Isla de León con un planetario profesional se comprueban los momentos de la inmersión y la emersión del Satélite I observados por Ellicott y Ortiz. En la Isla de León, sin embargo, las observaciones de Ortiz solo incluyen el momento de la inmersión [FERRER CAFRANGA, 1809b, p. 225]. Igualmente el Satélite I que se menciona en el informe es *Europa*, la segunda luna galileana (Fig. 5), que fuera la primera en entrar en contacto con el limbo oscuro de la luna en la noche del 15 de enero de 1799 y también la primera en emerger por el limbo iluminado imposible de identificar por los observadores. Hasta la fecha no hemos encontrado referencias sobre la identificación de esta luna.

Los resultados al final del informe incluyen la diferencia horaria entre los meridianos de París y de Nueva Orleans, así como los valores de la longitud de Nueva



Figura 5.

Orleans relativos a los meridianos de París y de Greenwich. La diferencia horaria entre estos meridianos fue obtenida después de medir las distancias lunares durante la ocultación del Satélite I de Júpiter por la luna.

2.2. Astronomía

2.2.1. Investigación de la exactitud de las declinaciones de efemérides para las estrellas brillantes Sirio y Canopus

El astrónomo de Pasajes aprovechó sus observaciones astronómicas en La Habana para revisar las declinaciones de dos de las principales estrellas utilizadas en navegación: Sirio y Canopus. Los valores de efemérides vigentes en aquel entonces habían sido calculados por Lacaille¹⁹ 50 años atrás [FERRER CAFRANGA, 1809c, p. 349], y como las estrellas fijas tienen un movimiento propio muy lento, se pensaba que al emplear declinaciones calculadas para años anteriores no habría errores de peso en los trabajos prácticos. No obstante, Cafranga quiso investigar el posible error en esta coordenada de Canopus y Sirio con respecto a sus valores verdaderos en 1808, producto de los 58 años transcurridos desde que habían sido calculadas. Así el 27 de

enero de 1808 realizó la medición de las alturas casi meridianas de Canopus con un reflector circular mediante cuatro series de dobles lecturas. Calculó las alturas meridianas y de una serie de 10 mediciones obtuvo la distancia angular entre Sirio y Canopus: $36^{\circ} 17' 19.4''$. Por último, con la diferencia en tiempo de la ascensión recta y el empleo de la distancia angular Cafranga obtuvo la diferencia de las altitudes meridionales (diferencia de declinaciones) e introdujo las tres correcciones fundamentales —aberración, nutación y precesión—, lo que le permitió hallar los valores exactos de las declinaciones de Canopus y Sirio del 27 de enero de 1808 [FERRER CAFRANGA, 1809c, p. 349]:

Canopus $52^{\circ} 35' 34,9''$
Sirio $16^{\circ} 27' 36,8''$

Cafranga supuso una precesión en longitud de $50,1''$, dato tomado de efemérides, con lo cual obtuvo que el cambio en la declinación de Canopus había sido de $-0'10,1''$ y el de Sirio $+1'02,0''$.

El valor de la declinación de Sirio el 1° de enero de 1808 reportado por el Rev. Nevil Maskelyne²⁰ era $16^{\circ} 27' 30''$, que difiere en $6,8''$ del resultado obtenido por Cafranga y en 2,2 del valor reportado en *Connaissance des Temps* [FERRER CAFRANGA, 1809c, p. 349].

Este resultado tiene un valor histórico digno de ser mencionado si se tiene en cuenta que un error de 60 segundos en la declinación, como el que el astrónomo español obtuvo para Sirio, tiene un peso significativo en el rumbo de las naves en alta mar. Es por eso que desde finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX la declinación de las estrellas en los almanaques náuticos ya se tabulaba en intervalos de tres días, para reducir los errores de interpolación. De este modo la diferencia en la declinación de Sirio obtenida por Cafranga en 1808 demostraba que el movimiento propio de las estrellas introducía una diferencia a considerar. La declinación actualizada de Sirio y Canopus constituyó sin dudas un aporte a la búsqueda exitosa del rumbo en las largas travesías transatlánticas de comienzos del siglo XIX, de ahí que fueran tan apreciados estos trabajos del astrónomo de Pasajes.

Llama la atención que Cafranga escogiese Canopus para hacer esta investigación. Es la segunda estrella más brillante del cielo, pero se eleva poco sobre el horizonte en las latitudes de Cuba, dado que pertenece a una constelación del hemisferio sur, y esto dificulta las mediciones de altura. En enero de 1808 era posible encontrar la estrella, justo hacia el sur suroeste, casi al anochecer. Con un planetario profesional se puede comprobar que la altura máxima de la estrella sobre el horizonte el 27 de enero de ese año había sido de solo $14^{\circ} 22'$ aproximadamente. Mas, como se dijo con anterioridad, Canopus y Sirio son estrellas de interés para la navegación por su magnitud, de modo que no es difícil comprender que, a pesar de las dificultades que pudieran presentarse durante las observaciones, Cafranga se empeñase en obtener los

datos exactos de estas estrellas y publicarlos, inconforme con los registrados en los almanaques autorizados de la época.

2.2.2. Tránsitos planetarios

Cafranga investigó varios tránsitos, en especial el paso de los planetas Venus y Mercurio frente al disco solar, con el objetivo de corregir el valor asignado a la paralaje solar en las efemérides vigentes, elemento indispensable para la determinación de la longitud geográfica y para el cómputo de la distancia Tierra-Sol, es decir, la Unidad Astronómica.

Con este fin, el astrónomo español analizó los resultados obtenidos durante el tránsito de Venus observado por el capitán Cook desde Ohaití en 1769, y por otros observadores desde Filadelfia, Cambridge, París, Greenwich, Oxford y Petersburgo, entre otros lugares del mundo. El análisis de estas observaciones fue publicado en el volumen de *Connaissance des Temps* del año 1817 y en el volumen VI de *Transactions of the American Philosophical Society*.

Entre los trabajos de Ferrer Cafranga reviste un significado especial su análisis de los tránsitos del planeta Mercurio sobre el disco solar el 12 de noviembre de 1782, —observado desde Greenwich, Cambridge y Filadelfia [FERRER CAFRANGA, 1809d]— y el 5 de noviembre de 1787 —observado desde París, Cambridge, Cádiz, Filadelfia y Montevideo [FERRER CAFRANGA, 1809e]—.

Con fecha 7 de mayo de 1799 Cafranga publicó las memorias de los cálculos del tránsito de Mercurio sobre el disco solar, esta vez no solo para comprobar la paralaje solar sino con el fin de determinar la longitud geográfica de Miller's Place, en el río Coenecuch [FERRER CAFRANGA, 1809f, p. 226]. Cafranga reporta en este informe que las observaciones habían sido realizadas por Ellicott, comisionado por los Estados Unidos para definir la línea divisoria del territorio estadounidense de la posesión de España.

El análisis de estos tránsitos planetarios analizados por Cafranga le condujo a la obtención de la paralaje solar, 8,593", valor que mereció el más alto reconocimiento de importantes autoridades científicas europeas, como la del Marqués de Laplace, quien a propósito del nuevo valor obtenido expresó, en un escrito publicado en enero de 1816 en París, lo siguiente:

La teoría lunar da la paralaje del sol de una manera indirecta. Y según los cálculos del mismo es igual a 8" y 59 [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 16].

Un astrónomo de reconocida fama, como Laplace, se felicitaba por el hecho de que su resultado hubiese coincidido con el que obtuvo el astrónomo de Pasajes empleando un método muy diferente. También en el volumen de *Connaissance des Temps* del año 1818 Laplace publicó una memoria, presentada en la primera clase del Instituto Nacional de Francia el 10 de Julio de 1815, en la que se lee:

El señor Ferrer, sabio astrónomo español, acaba de confirmar esta paralaje en una nueva discusión de las observaciones del paso de Venus hechas en 1769, en la cual el mismo ha rectificado las suyas propias respecto a la latitud y longitud de los lugares donde fue observado el referido paso en América. Lo perfectamente acorde de todos estos valores determinados por fenómenos tan diversos y semejantes es una nueva confirmación del principio de gravedad o pesantez universal [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 17].

De lo anterior se infiere la importancia histórica de estas observaciones de Ferrer Cafranga, ya que sus resultados, junto al valor de la paralaje obtenido por Laplace, constituyen la comprobación de la Ley de Gravitación Universal formulada por el físico y matemático inglés Isaac Newton 82 años antes.

2.2.3. Astronomía cometaria

En septiembre de 1807 apareció en cielo cubano un cometa visible durante varios meses. Ferrer Cafranga empezó a investigar el cometa en la ciudad de La Habana desde el 1° de octubre hasta el 7 de noviembre y después se trasladó a la plantación de José Cotilla²¹ en noviembre de 1807, donde continuó las observaciones. Obtuvo las coordenadas del cometa a partir de las distancias lunares a cinco estrellas brillantes: Altair, Arcturus, Vega, y las alfa, beta y gamma del Cisne, y construyó la trayectoria observacional que comparó con la teórica calculada con los datos de efemérides [FERRER CAFRANGA, 1809g, p. 347].

Cafranga reportó haber medido el tiempo con un buen cronómetro de los que ya en esa época se fabricaban con mayor profusión. Las comprobaciones se realizaron por las alturas de algunas de las estrellas referidas anteriormente y del sol, extraídas las distancias para dichas comprobaciones de las tablas publicadas en *Connaissance de Temps* de 1806. Todas las observaciones estaban referidas al meridiano de La Habana. Llamen la atención las pequeñas diferencias entre las coordenadas astronómicas observacionales y las teóricas, apenas pocas decenas de segundos y en ocasiones solo unos pocos segundos de arco. A esto se añade un detalle especialmente llamativo, y es que Cafranga comenta que «*las mediciones llevan la corrección por refracción a partir de las lecturas de termómetro y barómetro no incluidas en el informe*» [FERRER CAFRANGA, 1809g, p. 346]. Ferrer Cafranga tampoco menciona las tablas de donde pudieron ser extraídas las correcciones por refracción atmosférica, de modo que al ser habitual que mencionara en sus trabajos la fuente de donde extraía los datos, tiene sentido pensar en la posibilidad de que las correcciones hubieran sido íntegramente calculadas por él y no interpoladas a partir de tablas. Esta hipótesis tiene como fundamento el que por aquellos tiempos Ferrer ya tenía correspondencia con Laplace, autor de una expresión matemática para calcular el ángulo de refracción que hay que restar a las alturas aparentes de los astros para obtener la altura verdadera. La fórmula se basaba en un modelo de atmósfera estudiado por él para condiciones de presión y temperatura estandarizadas²². Es muy probable que las correcciones fueran hechas a partir del modelo de Laplace, dada la exactitud de sus observaciones, que difieren pocas veces en algo más de 30" de los valores teóricos. Ello habría sido im-

posible sin una corrección por refracción suficientemente exacta, y el modelo de Laplace, en aquel entonces, lo era.

Este informe de Cafranga acerca de la trayectoria del cometa de 1807 tiene una doble significación: histórica y científica. Marcó el comienzo de la astronomía cometeria en Cuba y constituye el testimonio de las primeras correcciones astronómicas por refracción atmosférica a partir de mediciones meteorológicas instrumentales locales en territorio cubano, acaso las primeras de su tipo en América. El carácter histórico tiene su fundamento en el hecho de que la Biblioteca Científica Cubana [TRELLES, 1918, p. 57] recoge, entre otros trabajos sobre cometas, los de Andrés Poey, Desiderio Herrera y Ramón de la Rosa, todos posteriores al informe de Ferrer Cafranga sobre el cometa de 1807, razón que permite afirmar que estas observaciones y cálculos del astrónomo de Pasajes son, hasta la fecha, las que marcan el inicio de la astronomía cometeria en Cuba.

2.2.4. Cálculo del semidiámetro lunar y la inflexión

Entre los resultados astronómicos de mayor repercusión histórica obtenidos por Ferrer Cafranga tenemos la corrección del radio lunar, producto del efecto refractivo de la atmósfera sobre los rayos provenientes de los bordes del disco, es decir, la corrección por inflexión, con la que obtuvo un valor del semidiámetro lunar más exacto del que aparecía en las efemérides y catálogos de la época. El conocimiento del radio lunar cobraba especial importancia en la determinación de las coordenadas geográficas cuando el fenómeno observado era un eclipse lunar o de sol, e incluso la ocultación de una estrella. En su informe, publicado en *Connaissance des Temps* de 1815, se presentan los valores del semidiámetro lunar y de la corrección por inflexión a partir de los datos de ocultaciones de diferentes estrellas, todas ellas observadas desde La Habana entre los años 1811 y 1812 [FERRER CAFRANGA, 1815b, p. 318]. En particular se reportan los valores de la inflexión obtenidos durante la ocultación de Aldebarán, Régulus y la estrella Epi de la constelación de Virgo, cuyo promedio fue de 2,07". El informe incluye el valor promedio del semidiámetro lunar, 15'31,69", calculado por Cafranga a partir de la paralaje lunar y deducido de las observaciones de los eclipses de sol anulares y totales ocurridos entre 1764 y 1806. Las observaciones del eclipse total de sol de 1806 fueron realizadas por el propio Cafranga, como así lo expresa en su informe. El promedio incluye los resultados de la observación de las ocultaciones de Aldebarán de 1793, la estrella alfa de la Constelación de Virgo y la gamma de Tauro.

Todo este exquisito y minucioso trabajo de compilación de observaciones y cálculo astronómico fue muy bien acogido y elogiado en la comunidad científica de aquellos años. Muestra de ello la tenemos en la expresiva carta que le fue enviada por el célebre astrónomo y matemático francés Lalande, editor de *Connaissance des Temps* entre 1794 y 1807 y miembro de la Academia de Ciencias de Francia:

Doy a Ud. mil gracias por la curiosa observación que me ha hecho el favor de remitirme. Haré imprimir la observación de Ud. en las Memorias del Instituto, porque me ha hecho ver que es necesario aumentar uno o dos segundos el radio de la luna, que los eclipses anulares me habían hecho ya adoptar. No dejaré, pues, de dar un testimonio de reconocimiento al celo de Ud. a favor de la historia de la Astronomía de 1805; teniendo a grande felicidad que haya un astrónomo, tan útil como lo es Ud. [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 14].

2.3. Meteorología

2.3.1. Astronomía y meteorología: Observaciones del eclipse de sol del 16 de junio de 1806 efectuadas en Kinderhook, en el Estado de Nueva York

El astrónomo de Pasajes organizó en 1806 observaciones astronómicas con fines geográficos para ser realizadas desde Cuba y los Estados Unidos, que aprovechó para investigar las particularidades del eclipse de sol del 16 de junio de 1806. A este eclipse dedicó algunas notas y dos informes publicados en las *Transactions of the American Philosophical Society* de 1809. Sus observaciones y profundos conocimientos de astronomía y física atmosférica le permitieron llegar a conclusiones muy originales de alto valor científico no solo para la astronomía, sino también para la meteorología, como se verá en el análisis del informe que lleva por título el encabezamiento de este acápite que, a nuestro modo de ver, recoge los aportes más trascendentes de toda la obra de Ferrer Cafranga.

En la noche del 16 de junio de 1806 Cafranga se encontraba en Kinderhook (EE.UU.) observando un eclipse total de sol con un telescopio refractor acromático y un cronómetro Arnold, entre otros instrumentos [FERRER CAFRANGA, 1809h, p. 265]. Entretanto Robredo, desde la plantación de José Cotilla en La Habana, observaba el eclipse con ayuda de un heliómetro Dolland, de cuyos resultados da testimonio Ferrer Cafranga en otro informe publicado en este mismo volumen de *Transactions* [FERRER CAFRANGA, 1809i]. En las observaciones hechas desde la Habana se utilizó un método muy original ensayado por Cafranga y Robredo durante un eclipse total de sol en 1803²³. Lo novedoso del método se debe a que el heliómetro es un instrumento destinado a la medición de la distancia aparente entre estrellas cercanas, así como la paralaje estelar, pero no a la medición de las fases de los eclipses. El método, posiblemente ideado por ellos²⁴, se fundamenta en la posibilidad de hacer la medición de la distancia entre las puntas de «*los cuernos*» o partes brillantes que se forman a medida que el oscuro disco lunar²⁵ intercepta la imagen del sol, distancia que en este experimento se mide con ayuda de una escala de ajuste micrométrico solidaria a la cruz filar del heliómetro.

Ferrer Cafranga [1809h, pp. 266-267] describe con precisión científica y belleza literaria la imagen observada una vez retirado del telescopio el filtro de protección con que seguía el eclipse. Hace referencia a un halo luminoso y perlado que rodeaba el «*disco oscuro de la luna*» cubriendo el sol, que califica con el poético término de

«*corona*», y atribuye a la atmósfera de la luna, toda vez que al referirse al disco lunar, expresa:

el disco tenía a su alrededor un anillo o atmósfera iluminada color perlado, que se extendía a 6' del limbo. El diámetro del anillo fue de 45'.

Nada tiene de extraño este criterio dado en tanto que el halo luminoso alrededor del disco lunar durante los eclipses totales de sol había sido atribuido a la atmósfera de la luna por los astrónomos durante siglos. Cafranga se dedicó a hacer algo que, al parecer, nadie había hecho anteriormente: calcular la extensión de la "atmósfera lunar" sobre su superficie, y los cálculos aparcan en su informe. Cafranga analiza que si la inflexión obtenida por él se debiese a la refracción horizontal de la luna, sabido que la refracción horizontal terrestre era próxima a 33' y que la inflexión era el doble de la refracción horizontal, entonces la densidad de la atmósfera lunar debía ser «1980 veces menos densa que la atmósfera terrestre», es decir, una atmósfera sumamente enrarecida [FERRER CAFRANGA, 1809h, pp. 274-275]. Con el fin de conocer la verdadera extensión de esta atmósfera lunar, Cafranga midió el radio del anillo luminoso (22.5') y el semidiámetro horizontal de la luna. Al sustraer la inflexión —también obtenida por Cafranga en otro trabajo— obtuvo el valor de 16' 23.8" y, con la paralaje ecuatorial horizontal de la luna interpolada para el momento de la conjunción, obtuvo que la altura de la atmósfera lunar tendría que ser de 348 millas aproximadamente sobre su superficie, extensión sorprendente y contradictoria al ser 50 veces superior a la altura de la atmósfera terrestre sobre la superficie del planeta, lo que llevó a Ferrer Cafranga a concluir en su informe:

la "corona" observada no puede ser en modo alguno un efecto de la atmósfera de la luna, sino sin dudas, tiene que ser consecuencia de la "atmósfera del sol" [FERRER CAFRANGA, 1809h, p. 274].

Con la revelación de estos resultados quedó acuñado, desde entonces hasta nuestros días, el término *Corona Solar*, que se refiere en astrofísica a la atmósfera del sol y modernamente a su parte mas externa. Tal fue el impacto del nuevo concepto en la comunidad científica internacional que el término quedó acuñado en español y fue transportado así a varios idiomas. En inglés, por ejemplo, se dice *Solar Corona*, no *Solar Crown*.

En el informe Cafranga hace referencia a su representación de la Corona Solar en la Placa VI que figura al final de dicho volumen²⁶ (Fig. 6). Como detalle interesante debemos señalar que en el libro *Total Eclipses of the Sun* de Mabel Loomis Todd hemos hallado, para nuestra sorpresa, una representación de la Corona que se atribuye a Ferrer²⁷.

Cafranga profundiza también en sus conclusiones acerca de la atmósfera lunar cuya densidad había calculado. Explica que en una atmósfera 1980 veces menos densa que la atmósfera terrestre no podrían formarse nubes, lo que se hace evidente para Cafranga ante la reiterada invariabilidad del aspecto de los accidentes de la superficie

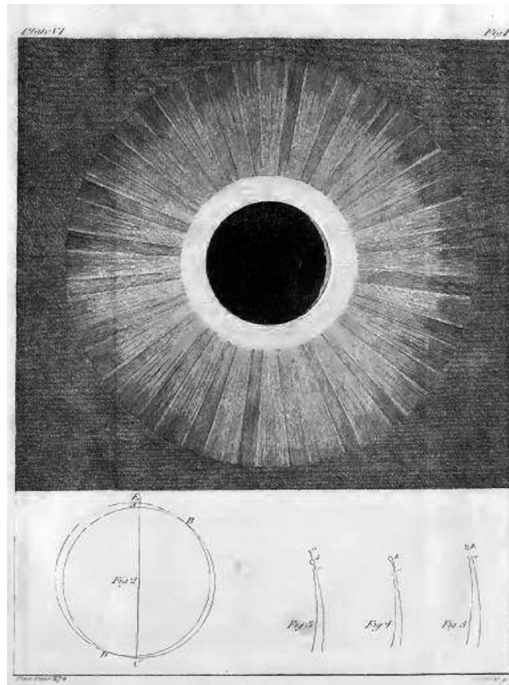


Figura 6.

lunar observados con el telescopio, que interpreta como una señal de ausencia de nubes. También expresa que el centro de la luna es siempre mas luminoso que los bordes, a diferencia de los planetas y de otros cuerpos celestes, incluido el propio sol y los cometas. Precisamente este hecho lo analiza como una evidencia de la ausencia de atmósfera lunar o de la presencia de una atmósfera muy enrarecida [FERRER CAFRANGA, 1809h, p. 275].

Estas conclusiones de Cafranga relativas a las atmosferas de la luna y del sol han marcado el límite entre las observaciones astronómicas y meteorológicas en la historia de la astronomía y la meteorología, de donde todo parece indicar que germinó lo que se conoce en la actualidad como meteorología planetaria²⁸, nueva especialidad de la meteorología surgida en el siglo XX.

2.3.1.1. Sombras volantes

Las *sombras volantes*, interesante aparición que se presenta poco tiempo antes o despues de la totalidad de los eclipses de sol, fueron descritas por Cafranga, durante el eclipse de 1806, como «*esbeltas columnas de humo que parecían emerger desde la porción occidental de la luna*», fenómeno quizás recogido por primera vez en la literatura científica de su época [FERRER, 1809h, p. 267]. En el informe sobre este eclipse

Cafranga no analiza el origen de las «*columnas de humo*», solo las describe sin tratar de dar explicación en ninguna de las memorias de sus trabajos. Hoy se sabe que estas columnas son las llamadas *sombras volantes*, que tienen su origen en las fluctuaciones del índice de refracción atmosférica²⁹ causadas por turbulencias a gran distancia del telescopio [CODONA, 1991, p. 482]. Este fenómeno ha sido ampliamente estudiado y se sabe que es consecuencia directa de la anisotropía en la distribución de la brillantez del fino creciente solar [DRAVINS, 1997]. Puede observarse incluso a simple vista antes o después de la fase total de un eclipse de sol proyectado sobre alguna superficie y se presenta en forma de bandas alargadas y ondulantes que recuerdan el aspecto de las *columnas de humo* que refiere Cafranga en su histórico informe³⁰.

2.3.2. Otras aportaciones a la meteorología

Aunque Ferrer Cafranga no era meteorólogo, hizo valiosos aportes al conocimiento de esta especialidad con diversas investigaciones meteorológicas. En primer lugar obtuvo los registros de presión y temperatura durante el trienio 1810, 1811, 1812 en la zona del Wajay, cercana a La Habana [FERRER CAFRANGA, 1815c, p. 338]. Por aquel tiempo Antonio Robredo ya había investigado el comportamiento de las temperaturas en el territorio del Wajay en el año 1801 y también había analizado de manera detallada las variaciones mensuales de la temperatura en centésimos de pulgada inglesa para ese año. Pero Humboldt opinaba que los reportes de Robredo no habían sido tan exactos como los del «*hábil navegante*» Ferrer, debido a que la colocación de los instrumentos no había sido la más adecuada, como también creía el propio Robredo [HUMBOLDT, 1974, p. 81], a lo que se añade que el astrónomo de Pasajes hizo sus observaciones día a día durante tres años consecutivos.

La importancia histórica de este informe es que contiene la primera caracterización climatológica representativa de los patrones de comportamiento mensual de la temperatura y la presión atmosféricas en La Habana, calificada por Humboldt como la más exacta que se hubiera hecho en Cuba hasta entonces [HUMBOLDT, 1974, p. 81].

2.3.2.1. Valores extremos de la temperatura en La Habana

Otro aporte a la meteorología cubana del astrónomo guipuzcoano, fue la medición de los valores extremos de las temperaturas en La Habana, ya investigados por Robredo con anterioridad, quien reportó como hecho notable en sus notas manuscritas una máxima de 34.3°C en el año 1801. Pero Cafranga observó e incluyó en su informe los valores extremos que marcaba el termómetro centígrado a la sombra durante tres años de investigación, pudiendo demostrar que la oscilación de los extremos estuvo entre 16°C y 30°C en La Habana [HUMBOLDT, 1974, p. 72], valioso dato en la caracterización del clima de La Habana que permitió a Humboldt hacer un estudio comparativo de las temperaturas con las de la zona más próxima al ecuador terrestre.

2.3.2.2. Registro del descenso del barómetro antes de la llegada de un huracán

El 25 de octubre de 1810 el astrónomo pasaitarra registró un descenso del barómetro que marcó 0.74472 m de altura de la columna de mercurio [FERRER CAFRANGA, 1815c]. Se trataba del preludeo de un fuerte huracán que atravesó La Habana el 26 de octubre de 1810 [HERRERA, 1847], precisamente el día de su cumpleaños, que la Cronología de Huracanes en Cuba recoge con la denominación de *Tormenta de Escarcha Salitrosa* [BENZANILLA, 2000, p. 1]:

el 25 de Octubre, la temperatura era de 25°C y el viento soplabá del S-SO durante 24 horas, sin interrupción y con violencia [FERRER CAFRANGA, 1815c, p. 339].

En el informe se describe que los vientos hicieron chocar muchos barcos en el puerto de La Habana y que agitaron con fuerza la campiña desde Jaruco hasta Bahía Honda (más de 135 km de extensión), provocando la destrucción de gran número de cafetales y plantaciones de azúcar. Ramos Guadalupe [2009, p. 83] describe esta tormenta como uno de los mayores desastres naturales de comienzos del siglo XIX en Cuba, cuyos fuertes vientos arrastraban gran cantidad de agua salada que con la lluvia depositaba sal sobre la tierra, de ahí la denominación de la tormenta.

La importancia histórica de estas observaciones de Ferrer Cafranga para la meteorología cubana y para esta especialidad como ciencia radica en la confirmación del descenso de la presión atmosférica como preludeo de la llegada de un huracán o ciclón tropical. Este comportamiento del barómetro ya había sido observado y reportado con anterioridad por el Capitán de navío español Tomas de Ugarte, antes y durante el huracán del 28 de agosto de 1794 [RAMOS GUADALUPE, 1999, p. 3]. Las observaciones de Ugarte fueron confirmadas por las de Ferrer Cafranga para los huracanes en el área del Caribe [HUMBOLDT, 1974, pp. 86-87] y ambas constituyen, hasta la fecha, las primeras de su tipo en Cuba, acaso también en la historia de la meteorología.

2.3.2.3. Investigación de la temperatura bajo tierra

Humboldt [1974, p. 83] presenta las mediciones de temperatura realizadas por Ferrer Cafranga en el interior de un pozo a 100 pies de profundidad con el sorprendente resultado de un valor más bajo que la temperatura media del aire, 24.4°C. Este hecho confirmó la hipótesis de Humboldt según la cual las corrientes que circulaban a grandes profundidades y transportaban las aguas muy frías desde la zona polar hacia las regiones ecuatoriales disminuían la temperatura interior de la tierra en islas de poca anchura, como Cuba. Estas mediciones de temperaturas bajo tierra de Cafranga son las primeras de este tipo de las que se tiene conocimiento en Cuba.

3. CONCLUSIÓN: DOS SIGLOS DE SILENCIO ACERCA DE LA OBRA DE FERRER CAFRANGA

A pesar de su corta existencia, los méritos científicos de José Joaquín Ferrer y Cafranga tuvieron tal repercusión que es difícil entender que una figura de su talla, reconocida en América y en Europa, cayese en el olvido poco después de su muerte. Sin embargo, después de haber estudiado su obra y haber revisado la biografía escrita por Antonio Alcalá Galiano³¹, llegamos a la conclusión de que para explicar esta contradicción es necesario invocar al menos tres factores, que permiten comprender en alguna medida el injusto y prolongado silencio sobre su obra. El primero de ellos fue su reiterada negativa a formar parte del cuerpo de la Real Armada española. Según ALCALÁ GALIANO [1838, p. 12], a finales del siglo XIX el Teniente General de la Real Armada José de Mazarredo, figura de gran prestigio y autoridad en ese cuerpo, propuso a Cafranga elevar su expediente al rey para su ingreso en la Real Armada, lo que da una medida de la admiración y el respeto que este sentía por el astrónomo. Pero Cafranga declinó la propuesta y al poco tiempo partió con la Compañía Torres y Hermanos al frente de una expedición comercial a Estados Unidos, desde donde habría de realizar otros viajes a diferentes territorios de la América Septentrional, en los que también se ocupó, como se ha visto en este artículo, de diversas investigaciones geográficas, astronómicas y meteorológicas, sus verdaderas motivaciones en la vida. Posteriormente, hacia 1816, le propusieron la dirección del Observatorio de San Fernando y con ello, una vez más, su ingreso a la Real Armada, propuesta que declinó nuevamente, aunque en esta ocasión dejó un informe detallado con recomendaciones concretas de gran valor para la mejora del observatorio [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 22]. Por estos años Ferrer Cafranga ya era una figura reconocida tanto en España como en América y en Europa, de manera que estas negativas reiteradas no debieron ser recibidas con agrado por las autoridades de gobierno, lo que se evidencia en la ausencia del merecido reconocimiento en ocasión de su fallecimiento en su propia tierra, en contraste con los honores que se le rindieron en países como Inglaterra, Francia y Alemania [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 28]. No obstante, es necesario hacer la salvedad de la Marina de Guerra Española, que desde el primer momento creó un espacio en el Museo Naval para honrar su memoria [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 46]. En la actualidad se conserva un óleo del navegante y eminente astrónomo en el Museo Naval del Palacio del Mar-Aquarium de la Sociedad Oceanográfica de Guipúzcoa (San Sebastián) (Fig. 7)³².

En estas negativas de Ferrer Cafranga para aceptar cargos del gobierno español pudo influir la tragedia vivida, con apenas 17 años de edad cuando, en su primer viaje a América con la Real Compañía Guipuzcoana de Caracas, fue interceptado y hecho prisionero por el almirante Rodney de la Marina de Guerra Inglesa; permaneció encerrado en una de las cárceles más crueles de Inglaterra, donde estuvo a punto de morir en dos ocasiones, sin que el gobierno español se interesase en liberarle, ni a él y ni a ninguno de los miembros de la tripulación [ALCALÁ GALIANO, 1838,



Figura 7.

pp. 8-10]. Solo las influencias de sus padres hicieron posible que años más tarde saliera de prisión y se incorporase a un colegio de su preferencia en Inglaterra. Tal vez este desencanto, ante el escaso interés de las autoridades por su liberación, hizo que Cafranga permaneciese al margen de las turbulencias políticas de su época, para dedicarse solo a aquello que era realmente de su interés, sin involucrarse jamás en cuestiones políticas [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 6].

A su muerte, toda la obra de Cafranga estaba dispersa en diversas publicaciones, tanto en América como en Europa, al contrario de lo que ocurría con otros astrónomos reconocidos de su época, cuyos trabajos estaban agrupados y publicados en tratados y libros. Ello se explica si se tiene en cuenta que Cafranga, como ya se vio en la introducción del presente trabajo, falleció con 54 años de edad, existencia que aunque compatible con la esperanza de vida de aquellos tiempos, quedaba por debajo, en 20 años y más, si se le compara con las edades que alcanzaron otros sabios septuagenarios de su época como Lalande, Laplace, Aragón y Delambre. Estos científicos vivieron lo suficiente para poder organizar sus trabajos en compendios que han llegado hasta nuestros días, posibilidad que no tuvo Cafranga, a quien la muerte sorprendió tempranamente cuando nadie lo esperaba. Todo lo anteriormente expuesto, son circunstancias que tal vez expliquen cómo es tan escasamente conocida entre astrónomos, meteorólogos y geógrafos de América y Europa —incluso en su propia tierra— la figura de José Joaquín Ferrer Cafranga, entre cuyas aportaciones científicas cabe destacar las siguientes:

- *Determinación de las coordenadas geográficas de numerosas posiciones en territorios del continente Americano, el mar Caribe y España.* Ello favoreció el desarrollo cartográfico para una amplia porción del Nuevo Mundo y un incremento de las posibilidades de navegación con destino mas seguro.
- *Perfeccionamiento en la determinación de las coordenadas geográficas a partir de la observación de la ocultación de las lunas jovianas por Júpiter y por la luna.* Este último tipo de ocultación, como referencia para la determinación de longitudes geográficas, no contaba con antecedentes en su época.
- *Corrección del valor vigente en la época para el semidiámetro lunar $15'31,69''$ y de la corrección por inflexión $2,07''$.*
- *Rectificación del valor vigente en la época para la paralaje solar $8,593''$ y, con ello, nueva confirmación de la Ley de Gravitación Universal formulada por Newton 82 años antes.*
- *Actualización de las declinaciones de Sirio y Canopus.* Estrellas de primera magnitud, usadas como referencia en la navegación de altura de la época, calculadas por Lacaille 58 años antes.
- *Nacimiento de la astronomía cometaria en Cuba.* Primer cálculo astronómico de la trayectoria de un cometa y su comparación con el cálculo teórico.
- *Primera caracterización del clima de La Habana.* Patrón de comportamiento promedio de la temperatura y la presión atmosféricas en La Habana, primera caracterización climatológica de su tipo en Cuba.
- *Primeras mediciones de la temperatura bajo la superficie de la tierra en Cuba.*
- *Primeras observaciones meteorológicas instrumentales al paso de un huracán por la isla de Cuba en el siglo XIX* (Tormenta de Escarcha Salitrosa de 26 de octubre de 1810). Confirmación del descenso del barómetro como anuncio de la proximidad de un huracán o ciclón tropical —probablemente entre las primeras conclusiones metereológicas de este tipo en el mundo.
- *Definición de Corona Solar y caracterización física de la atmósfera lunar.* Definición de la *corona solar* como consecuencia de la atmósfera solar y caracterización de la densidad y extensión de la atmósfera lunar.
- *Meteorología planetaria.* Sus conclusiones acerca de la corona solar y la atmósfera de la luna constituyen la simiente de esta nueva especialidad del siglo XX.
- *Primera descripción de las hoy denominadas Sombras Volantes.* Cafranga se adelanta en la descripción de este fenómeno atmosférico, visible durante los eclipses totales de sol.

NOTAS

1. ALCALÁ GALIANO [1838, pp. 6-11] hace una descripción detallada de la vida de J.J. Ferrer Cafranga desde su nacimiento, con detalles sobre los avatares de su juventud —cuando se inicia en la Compañía Guipuzcoana de Caracas— hasta su fallecimiento.
2. Se refiere al brigadier y científico Cosme Damián Churruca, muerto en la batalla de Trafalgar.
3. Se refiere a Dionisio Alcalá Galiano, brigadier y científico, padre de Antonio Alcalá Galiano, el autor de la biografía de Ferrer Cafranga referida en el presente artículo, muerto en la Batalla de Trafalgar.
4. El físico y astrónomo francés Dominique François Jean Arago fue presidente del Bureau de Longitudes de Francia y editor de *Connaissance des Temps*.
5. HUMBOLDT [1974] usa siempre el apellido Ferrer al referirse a José Joaquín Ferrer Cafranga. Lo mismo sucede en numerosas publicaciones donde su nombre aparece como J.J. Ferrer. Solo ocasionalmente aparece su segundo apellido en los informes publicados.
6. Al descubrir Galileo las cuatro lunas jovianas, propuso al rey Felipe III (1616) utilizar las frecuentes ocultaciones de estas lunas para calcular la longitud geográfica en alta mar, problema crucial para la navegación de la época en las travesías hacia el Nuevo Mundo, como se relata en [NAVARRO BROTONS, 2001] (En Línea: www.iac.es/pro-yecto/galileo/neo/obsastinavarroev.html). Estos intentos no resultaron prácticos debido al vaivén de las naves en el océano, pero sus aplicaciones posteriores en tierra firme fueron exitosas, como lo evidencian varios informes de Ferrer Cafranga.
7. Es el ángulo medido hacia el este a partir del coluro del Punto Vernal, o meridiano que pasa por el punto Aries, y aquel que pasa por la estrella u objeto celeste de interés a una hora determinada. Este ángulo se mide en horas y se subdivide en minutos y segundos de tiempo.
8. GONZÁLEZ RIPOLL [1995] relata la vida de Cosme Churruca, uno de los marinos vascos más extraordinarios del período de la Ilustración: «perteneció al reducido grupo de los oficiales denominados “científicos” cuya vida transcurrió entre el batir de los cañones y las mediciones de astros» [GONZÁLEZ RIPOLL, 1995, p. 18].
9. La paralaje horizontal es la diferencia entre los valores de las coordenadas geocéntricas y las coordenadas topocéntricas de un objeto celeste cuando el mismo se encuentra en el horizonte del observador.
10. El interés por conocer con exactitud el valor de la paralaje lunar se debía no solo a que era uno de los elementos del cómputo de la longitud geográfica durante los eclipses, sino también para obtener de manera expedita la distancia entre la tierra y la luna con el uso de relaciones trigonométricas.
11. Churruca es el autor del *Método de las Alturas Meridianas* para la determinación astronómica de la latitud geográfica, mérito científico por el cual es menos conocido.
12. Cafranga y Churruca no podían identificar cuál de las cuatro lunas conocidas quedaría oculta detrás de Júpiter, lo que tampoco era relevante en la determinación de las coordenadas geográficas. Por esto el informe de Ferrer Cafranga indica el Satélite más próximo a Júpiter con un número uno romano. Esta notación se mantiene en todos sus trabajos relacionados con la ocultación de los satélites jovianos.
13. Trabajamos con más de un planetario: el Stellarium versión 0.13.3 y dos versiones anteriores, todo disponible en <http://www.stellarium.org>. Pero a los efectos de la imagen de la ocultación de los satélites de Júpiter para ser publicadas en blanco y negro, consideramos que las más convenientes son las imágenes del planetario 0.8.2, que acompañan el presente trabajo.
14. Ponencia presentada por la autora el 22 de octubre de 2013 con motivo del 250 Aniversario del natalicio de J.J. Ferrer Cafranga: *José Joaquín Ferrer Cafranga, un sabio olvidado, gloria de la geografía astronómica Cubana*. La sesión fue auspiciada por La Sociedad Cubana de Historia de la Ciencia y la Tecnología y por la Agregaduría Cultural de la Embajada de España en Cuba.
15. Antonio Robredo fue marino y socio fundador de la Sociedad Económica de Amigos del País de Cuba, valorado por Humboldt en su *Ensayo político sobre la isla de Cuba* [HUMBOLDT, 1974] como «excelente observador».

16. Ferrer había entregado a Arago las memorias de sus observaciones meteorológicas en La Habana de comienzos del siglo XIX junto a muchas otras [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 15].
17. Este método era muy conveniente para la ubicación de observatorios astronómicos, y así se creó el Observatorio Astronómico de París en 1667, desde donde se fijó la longitud de París utilizando el método de las lunas de Júpiter descubiertas por Galileo. Muchos otros observatorios europeos, como el de Greenwich, fijaron de esta forma su posición por dicho método.
18. Para este dato y otros detalles acerca del primer reloj de alta precisión para la navegación ideado por Harrison, afamado relojero inglés, véase [GONZÁLEZ, 1998, p. 176].
19. Nicolas Louis de Lacaille, astrónomo francés miembro de la Academia de Ciencias de París, fue conocido entre otras razones por haber catalogado alrededor de diez mil estrellas. En su catálogo de los años 1750-54 se incluyen las declinaciones de Sirio y Canopus a las que se refiere Cafranga en su informe.
20. El astrónomo inglés Nevil Maskelyne era una de las figuras más importantes del Bureau de Longitudes, Astrónomo Real y director del Observatorio Astronómico de Greenwich.
21. Hacendado de San José de las Lajas, La Habana, siglo XIX. Actualmente lleva su nombre en ese territorio un barrio, una loma y hasta una famosa cueva. La plantación está situada en los 22 grados 55 minutos de latitud Norte y 44,3 segundos al Este de La Habana. Desde allí Ferrer Cafranga realizó parte importante de las observaciones astronómicas de mayor trascendencia para la astronomía, entre ellas las del cometa de 1807.
22. El valor del ángulo de refracción que era necesario sustraer estaría dado por la siguiente expresión: $\rho'' = 57,08'' \tan V' - 0,067'' \tan^3 V'$, donde V' representa la distancia cenital observada. La fórmula general fue deducida por LAPLACE [1805, vol. IV, 3] suponiendo para el índice de refracción atmosférica el valor de 1,00029, que corresponde a la capa más próxima a la superficie terrestre, y por ello la que crea mayor curvatura en el rayo de luz.
23. Los resultados de estas observaciones aparecen en un informe acerca del eclipse de sol del 21 de febrero de 1803, efectuadas desde las ciudades de La Habana y Lancaster, con el propósito de determinar las longitudes de ambas ciudades relativas a Greenwich [FERRER CAFRANGA, 1809].
24. En la literatura consultada no aparece referencia alguna al empleo del heliómetro en la observación de eclipses hasta la fecha.
25. La luna se encuentra en fase de luna nueva siempre durante los eclipses totales de sol. De ahí el aspecto de disco oscuro que intercepta gradualmente el disco luminoso del sol.
26. WITT [1809, p. 300] señala que una representación del eclipse había sido entregada en el depósito de la Sociedad y que era muy parecida a la que había dibujado «el señor Ferrer», representada en la Fig. 1 de la Placa VI en *Transactions*, vol. VI (1809).
27. Mabel Loomis Todd, escritora y esposa del astrónomo estadounidense David Peck Todd, recoge en su obra la imagen del sol eclipsado que supuestamente dibujó Cafranga [LOOMIS TODD, 1900, p. 115] como parte de uno de sus informes publicados en *Transactions*. Pero al comparar la figura que aparece en el libro de Mabel Loomis con la mostrada en la Fig. 1 de la Placa VI de *Transactions*, vol. VI (1809), se evidencia que las imágenes no son las mismas.
28. Ponencia que presentó la autora en el Primer Encuentro Nacional de Historia de la Meteorología bajo el título: *Memorias Meteorológicas, geográficas y astronómicas de un sabio olvidado: José Joaquín Ferrer Cafranga*. El encuentro se realizó en el marco del VII Congreso Cubano de Meteorología, auspiciado por la Sociedad Meteorológica de Cuba (La Habana, 1 diciembre 2013).
29. Razón entre la velocidad de propagación de la luz en el aire y la velocidad de propagación en un medio.
30. El análisis físico detallado del fenómeno de las sombras volantes aparece descrito en [DRAVINS, 1997].
31. Alcalá Galiano escribió la biografía de Ferrer Cafranga a solicitud de Joaquín María Ferrer Cafranga, senador y hombre de amplia cultura, quien poco después del fallecimiento de su hermano se dio cuenta del silencio en que iba a quedar su figura y su producción científica. Al comienzo de la biografía, en las notas al lector, Galiano hace referencia a esta petición [ALCALÁ GALIANO, 1838, p. 4].

32. Imagen digital del retrato al óleo de Ferrer Cafranga tomada de *Aunamendi Eusko Entziklopedia*, <http://www.euskomedia.org/aunamendi/98085>.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCALÁ GALIANO, A. (1838) *Biografía del astrónomo español Don José Joaquín de Ferrer y Cafranga*. Madrid, Imprenta de J. Martín Alegría.
- ARAGO, F. (1815) "M. Ferrer, à son passage à Paris". En: *Connaissance des temps ou des mouvements célestes à l'usage des astronomes et des navigateurs pour l'an 1817*. Paris, M^{me} V^e Courcier, 395.
- BENZANILLA A. (2000) "Descripción de los huracanes intensos que han afectado las provincias habaneras". *Boletín SOMETCUBA*, 6(1), 1-10.
- CODONA, J.L. (1991) "The Enigma of Shadow Bands". *Sky and Telescope*, 81, 482-487.
- CUEVAS TORAYA, J. de las (2001) *500 Años de Construcciones en Cuba*. Madrid, Ed. Chavín.
- DRAVINS D., LINDERGREN, L. & MEYER, E. (1997) "Atmospheric Intensity Scintillation of Stars". *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 109, 725-737.
- EULER, L. (1749) "Méthode de Déterminer la longitude des Lieux per les observations D'occultations des Étoiles fixes per la Lune". *Mémoires de L'Académie des Sciences de Berlin*, 3, 178-179.
- Ferrer Cafranga, J.J. (1809a) "Memoir on the Occultation of Aldebaran by the moon on the 21st of October 1793". *Transactions of the American Philosophical Society*, VI, 213-221.
- FERRER CAFRANGA, J.J. (1809b) "The geographical positions of sundry places in North America and in the West Indies, calculated from astronomical observations". *Transactions of the American Philosophical Society*, VI, 221-225.
- FERRER CAFRANGA, J.J. (1809c) "January 11th, 1808. Occultation of n Geminis by the moon". *Transactions of the American Philosophical Society*, VI, 349-350.
- FERRER CAFRANGA, J.J. (1809d) "Passage of Mercury over the disc of the Sun, Nov. 12th, 1782". *Transactions of the American Philosophical Society*, VI, 356.
- FERRER CAFRANGA, J.J. (1809e) "Passage of Mercury over the disc of the sun, Nov. 5th, 1787". *Transactions of the American Philosophical Society*, VI, 356.
- FERRER CAFRANGA, J.J. (1809f) "Passage of Mercury over the disc of the sun, May 7th, 1799". *Transactions of the American Philosophical Society*, VI, 226-229.
- FERRER CAFRANGA, J.J. (1809g) "Observations of the Comet which appeared in September 1807, in the island of Cuba". *Transactions of the American Philosophical Society*, VI, 345-347.
- FERRER CAFRANGA, J.J. (1809h) "Observations of the eclipse of the sun, June 16th 1806, made at Kinderhook, in the State of New York". *Transactions of the American Philosophical Society*, VI, 264-275.
- FERRER CAFRANGA, J.J. (1809i) "Solar Eclipse of June 16th, 1806, in the city of Havanna". *Transactions of the American Philosophical Society*, VI, 351.
- FERRER CAFRANGA, J.J. (1809j) "Observations of the Eclipse of the Sun on the 21st February, 1803, made in the City of Havanna and at Lancaster in Pennsylvania, US". *Transactions of the American Philosophical Society*, VI, 161-162.
- FERRER CAFRANGA, J.J. (1815a) "Positions géographiques de différens points de l'Amérique septentrionale". En: *Connaissance des temps ou des mouvements célestes à l'usage des astronomes et des navigateurs pour l'an 1817*. Paris, M^{me} V^e Courcier, 320-324.

- FERRER CAFRANGA, J.J. (1815b) "Occultations d'étoiles observées à la Havane, et qui peuvent servir à déterminer l'inflexion du demi-diamètre de la lune". En: *Connaissance des temps ou des mouvements célestes à l'usage des astronomes et des navigateurs pour l'an 1817*. Paris, M^{me} V^e Courcier, 318-320.
- FERRER CAFRANGA, J.J. (1815c) "Moyennes des observations météorologiques faites à la Havane, pendant les années 1810, 1811 et 1812". En: *Connaissance des temps ou des mouvements célestes à l'usage des astronomes et des navigateurs pour l'an 1817*. Paris, M^{me} V^e Courcier, 338-339.
- FLORES, L. de (1673) *El Arte de Navegar*. 1^a ed. facsímil, Córdoba, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, 2007. Lectura crítica por Antonio García del Moral y Daniel Rodríguez Cibrián.
- GONZÁLEZ, F.J. (1993) "La Rectificación de las Coordenadas Geográficas de La Habana mediante señales Telegráficas en 1868: Una interesante colaboración entre el United States Naval Observatory y la Comisión Hidrográfica de las Antillas". *LLULL*, 16, 493-504.
- GONZÁLEZ, F.J. (1998) "Péndulos Astronómicos y Cronómetros marinos de La Armada: El Observatorio de san Fernando y los antecedentes del patrón Nacional de Tiempo". *Asclepio*, 50(1), 175-198, doi:10.3989/asclepio.1998.v50.i1.357.
- GONZÁLEZ RIPOLL, M.D. (1995) *A las Órdenes de las Estrellas. Vida del marino Cosme de Churruca y sus expediciones a América*. Madrid, CSIC.
- HERRERA, D. (1847) *Memoria sobre los huracanes en la isla de Cuba*. La Habana, I. de Barcina. Fondos Siglo XIX Academia de Ciencias de Cuba.
- HUMBOLDT, A. (1974) *Ensayo político sobre la Isla de Cuba*. "Claves de América", 29. Caracas, Biblioteca de Ayacucho. Traducción actualizada del original en francés, 1826.
- LAPLACE, P.S. (1805) *Traité de Mécanique Céleste. Tome Quatrième*. Paris, Chez Courcier.
- LOOMIS TODD, M. (1900) *Total Eclipses of the Sun*. "Columbian Knowledge Series", 1. Boston, Little, Brown & co.
- NAVARRO BROTONS, V. y LÓPEZ PIÑERO, J.M. (1983) "Galileo y España". En: *Atti del convegno 'Firenze e la Toscana dei Medici nell'Europa dell'500'*. Florencia, L. Olshki, vol. 2, 763-776.
- RAMOS GUADALUPE, L.E. (1999) "Primeras observaciones meteorológicas instrumentales realizadas en La Habana al paso de un ciclón tropical". *Boletín SOMETCUBA*, 5(1), 1-3.
- RAMOS GUADALUPE, L.E. (2009) *Desastres Naturales en Cuba*. 1^a ed., La Habana, Editorial Academia (edA).
- TRELLES, C.M. (1918) *Biblioteca Científica Cubana*. La Habana, Imp. de Juan F. Oliver, Biblioteca Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana, 2 vols. Prólogo de Carlos de la Torre Huerta.
- WITT, S. DE (1809) "Observations on the Eclipse of 16 June, 1806, made by Simeon De Witt Esq. of Albany, State of New York, addressed to Benjamin Rush M.D...". *Transactions of the American Philosophical Society*, VI, 300-302.