

## Contribuciones de astrónomos mexicanos al estudio de auroras boreales de baja latitud entre 1789 y 1791

M. P. Ramos-Lara\*

*Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México, Torre II de Humanidades, 4to piso, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 CDMX.  
e-mail: ramoslm@unam.mx*

Received 5 September 2020; accepted 30 November 2020

El 14 de noviembre de 1789 se observó una aurora boreal en la Ciudad de México. Esta fue la primera aurora de baja latitud analizada científicamente en el mundo por tres científicos novohispanos: José Antonio Alzate, Antonio de León y Gama y José Francisco Dimas Rangel. Ciertamente, sus contribuciones a este fenómeno –imposible de explicar en esa época– estuvieron al mismo nivel que las aportaciones de sus colegas europeos. Alzate realizó observaciones meteorológicas y astronómicas precisas; notó que coincidía con un aumento en el tamaño de manchas solares; pronosticó su observación en varias regiones de América, Europa y Asia; y especificó su centro en el cenit. León y Gama, autor del tratado de auroras boreales más completo de América hasta esos años, la clasificó, calculó su altura, propuso un modelo propio, opinó sobre los límites de la ciencia para comprender su naturaleza y señaló misterios, algunos sin respuesta todavía. Dimas Rangel realizó un experimento para reproducir –por primera vez– las características de una aurora, opinó sobre algunas explicaciones científicas y propuso la suya propia. La aurora fue observada también en Barcelona, Suecia, Inglaterra, Polonia, San Petersburgo, Norteamérica (Salem, Hingham, Hamden y Cambridge) y Cuba.

*Descriptores:* Aurora boreal de baja latitud; ciudad de México (1789); manchas solares; tratado de auroras; astronomía novohispana; José Antonio Alzate y Ramírez; Antonio de León y Gama; Francisco Dimas Rangel.

In 1789, on November 14<sup>th</sup>, an aurora borealis was observed in Mexico City. This was the first low-latitude aurora scientifically analyzed in the world by three Mexican scientists: José Antonio Alzate, Antonio de León y Gama, and José Francisco Dimas Rangel. Certainly, they and their European colleagues were at the same level when studying this phenomenon, impossible to explain at that time. Alzate made precise meteorological and astronomical observations; he noted that it coincided with an increase in the size of sunspots; he predicted its observation in various regions of America, Europe, and Asia; and he specified its center at the zenith. León y Gama, author of the most complete auroras Treatise in America up to those years, classified it, calculated its height, proposed his own model, gave his opinion on the limits of science to understand its nature, and pointed out mysteries, some still unanswered. Dimas Rangel carried out an experiment to reproduce –for the first time– the characteristics of an aurora gave his opinion on some scientific explanations and proposed his own. The aurora was also observed in Barcelona, Sweden, England, Poland, Saint Petersburg, North America (Salem, Hingham, Hamden, and Cambridge), and Cuba.

*Keywords:* Low latitude Aurora borealis; mexico city (1789); sunspots; auroras treaty; illustrated mexican astronomy; José Antonio Alzate y Ramírez; Antonio de León y Gama; Francisco Dimas Rangel.

PACS: 01.65.+g

DOI: <https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.18.154>

### 1. Introducción

*“El señor de Gama, en su Disertación física refiere un fenómeno que hasta el día ningún Físico ha descrito; pero ni aun lo ha soñado.” (Alzate 1791, 76)*

*“Cual sea la causa de cesar de aparecer en tan crecido número de años [de las auroras], y después de una grande intermisión, observarse con frecuencia, no es fácil hallar en ninguno de los sistemas hasta ahora inventados por los Físicos.” (León y Gama 1790, 6)*

*“[...] pero las observaciones hasta el día practicadas no han sido bastantes a descubrir el verdadero origen o causa de este meteoro ni la altura perpendicular en que se forma.” (Dimas Rangel 1789, 1)*

*“[...] hasta la presente no hay nada de cierto sobre la materia de que se componen esta especie de meteoros y todo ha sido conjeturas.” (Dimas Rangel 1789, 2)*

Estas frases se encuentran en algunos de los trabajos publicados entre 1789 y 1791 por tres novohispanos, después del avistamiento de una aurora boreal presenciada en la Ciudad de México el 14 de noviembre de 1789. Un suceso asom-

broso que ningún astrónomo novohispano esperaba ver en su territorio, pues se sabía de su manifestación frecuente solo en zonas septentrionales y meridionales del planeta. De ahí que el primer libro sobre auroras boreales -publicado por

la Academia de Ciencias de París en 1733- estableciera un límite inferior de visibilidad en  $35^\circ$  latitud [1], un dato equivocado a partir de la observación de esta aurora a  $16.8^\circ$ .

Los tres novohispanos fueron el naturalista José Antonio Alzate y Ramírez (1737-1799), miembro de la Academia de Ciencias de París y de dos asociaciones españolas, el matemático y astrónomo Antonio de León y Gama (1735-1802) y el impresor y hábil relojero José Francisco Dimas Rangel Cabe señalar que los dos primeros mantenían comunicación con algunos astrónomos franceses. Los tres expresaron que era un fenómeno tan excepcional como incomprendible [2]. En efecto, como los tres conocían la obra de Mairan y sabían del límite inferior en latitud, ninguno esperaba ver una aurora boreal en la capital y mucho menos en Zimatlán (Oaxaca).

Lo relevante es que los novohispanos con una sola observación circunstancial e imprevista de la aurora -a diferencia de científicos europeos que las observaron varias veces realizaron estudios observacionales, experimentos, cálculos matemáticos, análisis teóricos y formularon dos modelos diferentes de este enigmático fenómeno. Resulta evidente que los tres estuvieron a la altura de sus pares europeos desempeñando actividades multifacéticas en lo que ahora denominamos ciencias exactas y naturales. Es pertinente indicar que los términos utilizados en este trabajo de astrónomos, físicos y matemáticos, aunque históricamente se les denota de esa manera, no corresponden propiamente a las profesiones que actualmente conocemos.

Entre los tres publicaron nueve trabajos, siete notas en revistas (cuatro de Alzate, dos de León y Gama y una de Dimas Rangel) y dos artículos independientes impresos en casas editoriales particulares. La lectura de sus trabajos permite apreciar sus diferencias incompatibles (las cuales generaron un debate) [3], algo comprensible considerando que, como fenómeno complejo, en esos años no se tenía una explicación convincente [4]. Sus resultados, en conjunto, fueron y continúan siendo valiosos para la física de las auroras boreales, pero también para el estudio de la física solar, de las ciencias de la atmósfera y de la Tierra y de la física de partículas, entre otros campos. A continuación se enlistan los alcances de sus investigaciones, pues por primera vez a nivel mundial se presentaron las siguientes contribuciones:

- Se estudió científicamente una aurora boreal presenciada a bajas latitudes, y se analizó a la luz de las observadas en Europa en regiones meridionales y septentrionales. Sus trabajos se han citado nuevamente porque ofrecen información útil para estudiar el comportamiento del Sol en esa época, pues, al no haber instrumentos especializados para medir la actividad solar, se recurre a fuentes indirectas como los registros de auroras o bien, de manchas solares.
- Se calculó la altura de la aurora de baja latitud, valor que coincide con los obtenidos en la actualidad.
- Se identificó la aurora con un aumento en el tamaño de

las manchas solares.

- Se predijo la observación de la aurora en regiones claramente localizadas en tres continentes distintos y se tuvo coincidencia en algunos de ellos.
- Al mismo tiempo que se formuló un modelo de la aurora con dos elementos actualmente validados, se diseñó un experimento para comprobarlo en el laboratorio, donde se reprodujeron algunas características de las auroras.
- De tres modelos originales de auroras boreales formulados en el continente americano hasta el siglo XVIII, dos de ellos fueron planteados en Nueva España y uno en Estados Unidos de Norteamérica [5].
- En la Ciudad de México se publicaron los primeros tratados de auroras boreales editados en América: *Discurso físico sobre la formación de las auroras boreales* de Dimas Rangel (1789) y *Disertación física sobre la materia y formación de las Auroras boreales* de León y Gama (1790), el cual sobresale como el más amplio y completo.
- Se señalaron misterios de las auroras que siguen sin respuesta (como el Mínimo de Maunder planteado más de un siglo después) y se realizaron cálculos mediante los cuales se aclararon dudas que circulaban en Europa.
- Se efectuó el primer esfuerzo, desde el Nuevo Mundo, por completar catálogos europeos de auroras boreales, incluyendo registros locales.
- Se recopiló información sobre la observación de la aurora en cinco ciudades de Nueva España.
- Se refutaron apropiadamente premisas de astrónomos europeos.

## 2. La aurora boreal, un fenómeno inexplicable en el siglo XVIII

A lo largo de la historia, el fenómeno de las auroras polares ha sorprendido a aquellos que han tenido la oportunidad de observarlo. Dar explicación a este fenómeno no fue sencillo, las mentes más brillantes trataron de hacerlo desde tiempos remotos. Así, podemos mencionar a Aristóteles, Tycho Brahe, René Descartes, Galileo Galilei, Pierre Gassendi, Edmund Halley, Jean-Jacques Dortous de Mairan, Leonhard Euler, Benjamín Franklin, John Dalton y Antoine Lavoisier, por mencionar algunos de los conocidos hasta el periodo de la Ilustración. La variedad de modelos que circularon fueron fundamentales para que el siglo XVIII cerrara con algunos elementos principales para la elaboración de una explicación correcta que tardaría más de un siglo en desarrollarse como los vapores de la tierra, el magnetismo terrestre, la atmósfera solar y la electricidad [6].

Algunas de las explicaciones de estos sabios circularon en Nueva España y, al igual que en Europa, recibieron objeciones por parte de los novohispanos. Las más conocidas fueron las de Halley, Pierre Van Mussenbroek, Franklin y Mairan; este último sobresalió como el más citado. Halley pensaba que la formación de las auroras se debía a materia magnética que, al ser dimanada de la Tierra, se dirigía hacia los polos. Para Franklin, la electricidad era la causa y materia de su formación, mientras que para Mussenbroek [7] eran exhalaciones de la Tierra que subían a la parte superior de la atmósfera. Mairan propuso que su origen se debía a la materia que provenía de la atmósfera del Sol, al igual que la luz zodiacal, y fue el primero en publicar un libro dedicado a las auroras boreales, el *Traité Physique et Historique de L'Aurore Boréale* en 1733, con una reedición actualizada en 1754.

Entre los problemas que impedían contar con elementos que descartaran algunas de esas ideas podemos mencionar las limitaciones técnicas de la época -eran los inicios de los globos aerostáticos-, que impedían tener información sobre la atmósfera, así como la falta de desarrollo teórico y conceptual de varias áreas de la física. En aquellos años, el diccionario definía la atmósfera como un “globo de aire” en movimiento que contenía los vapores y las exhalaciones de la Tierra. Se sabía poco de su composición y la altura presentaba enormes diferencias dependiendo del método utilizado. Con la observación de los crepúsculos se obtenía una altura máxima de 14 leguas [8] (a este método recurrieron Kepler y Tycho Brahe, entre otros); a través de barómetros, el valor era de 20 leguas (este fue usado por Halley, Boyle, Pascal y Mariotte), y el último consistía en calcular la altura de las auroras boreales, considerada por muchos arriba de las 300 leguas. Como consecuencia, devino el dilema sobre si las auroras se manifestaban dentro o fuera de la atmósfera [9]. Si era dentro, tenían que elevar su altura necesariamente, como Mairan, quien llegó a considerarla superior a las 500 leguas, mientras que Euler la estimó en 1000 leguas [10].

A continuación veremos que los científicos novohispanos enfrentaron los mismos inconvenientes técnicos, metodológicos, teóricos y conceptuales que los europeos para estudiar la aurora observada.

### 3. José Antonio Alzate y Ramírez

José Antonio Alzate y Ramírez es el científico ilustrado novohispano sobre quien más se ha escrito. Ha sido considerado el más prolífico de los científicos ilustrados cuyas obras llegaron a Europa [11], símbolo de la cultura novohispana y padre del periodismo científico en México [12]. Moreno lo consideró el árbol más frondoso del renovado bosque del siglo ilustrado [13], además de ser un ferviente divulgador del conocimiento y apasionado de las observaciones astronómicas, geográficas, químicas, físicas y de las ciencias naturales [14].

Alzate fue el primero en publicar los resultados de sus observaciones de la aurora del 14 de noviembre de 1789, con

un excelente texto de tres páginas. Desde la mirada científica, esta es su publicación más valiosa de las cuatro que produjo. En las demás justifica lo que hizo en esta, critica los trabajos de León y Gama y, aunque con reservas, se inclina a favor de las ideas de Dimas Rangel, además de que corrobora su predicción de que la aurora sería observada en Europa. Sus trabajos fueron los siguientes:

- “Noticia del Meteoro observado en esta Ciudad en la noche del día 14 del corriente”, en *Gazeta de Literatura*, tomo I, núm. 6, México, Imp. de Felipe Zúñiga y Ontiveros, 19 de noviembre de 1789, pp. 231-234 [15].
- “Carta del Autor de la Gazeta de Literatura al Anónimo que imprimió en las de México NN. 44 y 45 un Discurso sobre la Aurora Boreal”, en *Gazeta de Literatura*, tomo I, núm. 13, México, Imp. de Felipe de Zúñiga y Ontiveros, 8 de marzo de 1790, pp. 97-104.
- “Novedad Literaria. Disertación (nombrada) Física, sobre la materia y formación de las auroras boreales... por D. Antonio de León y Gama & c”, en *Gazeta de Literatura*, tomo I, núm. 14, México, Imp. de Felipe de Zúñiga y Ontiveros, 16 de agosto de 1790, p. 16.
- Sin título, *Gazeta de Literatura*, tomo II, núm. 10, México, Imp. de Felipe Zúñiga y Ontiveros, 11 de enero de 1791, pp. 75-76.

Alzate se encontraba en su casa platicando con un amigo cuando su sirviente le señaló un extraño fenómeno en el cielo. De inmediato subió a su observatorio particular para realizar las anotaciones correspondientes. A las 20:30 horas empezó su registro, cuando el meteoro se mostraba de color rojo oscuro, el cual se empezó a debilitar a las 21:15 y a las 21:30 apenas se percibía una “ligera tintura”; conforme desaparecía el color rojo, le sucedía otro blanquecino, además de que el segmento se había inclinado hacia el nordeste respecto al inicio. En su texto señaló sus medidas meteorológicas matutinas: “En el día 14 el termómetro expuesto al norte, estaba a las seis de la mañana en 7 gr., el barómetro señalaba 21 pulg. 71/2 líneas, y el higrómetro 62 gr, el día fue muy sereno” [16].

En este trabajo inicial hizo referencia a la teoría de Mairan. Como buen científico y astrónomo observacional describió todo lo observado, pues decía “[...] no se debe omitir alguna, aunque a primera vista se presente como de poco interés”. Así declaró:

“Este sabio [Mairan] atribuye este meteoro a la Luz Zodiacal que se separa, y por esto se nos hace visible. Por lo que pueda contribuir respecto a los progresos de la física, expondré estas dos observaciones subalternas. En el Sol entre otras muchas manchas de que ha estado cargado, desde el día 7 se registran cinco de mucha magnitud, la menor de estas excede dos o tres veces a la grandeza de la tierra, y a noche hora y media antes de que se observase la Aurora Boreal, la Luz Zodiacal se

presentaba muy clara y se extendía del Oeste Sudoeste al Nordeste, por más de 40 grados”.

Como Alzate, llevaba un registro de las manchas solares desde años anteriores, notó un aumento en el tamaño y lo asoció con la manifestación de la aurora, algo inusitado para su época. Aunque las observaciones de las manchas solares se hacían desde la antigüedad y la literatura ha reportado que la primera correlación entre manchas solares y fenómenos terrestres (como la cosecha) fue indicada por William Herschel en 1801; Galindo y Saladino muestran que fue Alzate el primero en sugerir una posible relación entre las manchas solares y el clima terrestre a partir de uno de sus trabajos publicado en 1784 [17].

Por otra parte, en el Viejo Mundo, fue hasta 1843 que el astrónomo amateur alemán Samuel Schwabe, al buscar otro planeta, realizó el primer resultado sistemático que hizo notar que cada 11 años se producía un máximo del ciclo de las manchas solares. En 1859, el astrónomo inglés Richard Carrington del Observatorio de Kew de Londres observó una llamarada solar de la cual salieron dos erupciones y 18 horas después se observó una aurora boreal vista en Hawái, Jamaica, Cuba, Chile, Australia y México, entre otros países. En 1870, en Estados Unidos y Alemania se encontró una correlación en la producción de auroras boreales cada 11 años. A pesar de esto, la asociación entre manchas solares y auroras boreales tuvo lugar hasta 1905, por los esposos Edward Maunder y Annie S. D. Russell del Observatorio de Greenwich [18].

Estos resultados propiciaron que la comunidad científica comenzara a rastrear registros de auroras boreales y manchas solares de siglos anteriores. Hoyt y Schatten elaboraron uno de los catálogos más completos [19], donde los datos de Alzate no fueron considerados como lo menciona Luis Eduardo Salcedo [20]. Al respecto, Vaquero y Moreno-Corral dieron a conocer tres de sus observaciones, realizadas en 1769, 1784 y 1786 [21], ver Fig. 1.

Así como este, otros de sus datos (entre ellos, los meteorológicos) podrían ser de utilidad en estudios comparativos relacionados con esta aurora boreal, dado que fue observada también en Barcelona, Suecia, Inglaterra, Polonia, San Petersburgo, Norteamérica (Salem, Hingham, Hamden y Cam-

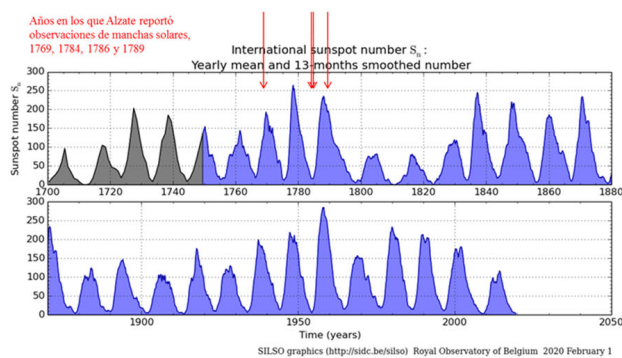


FIGURA 1. Fuente: SILSO Graphics, Royal Observatory of Belgium. Datos de manchas solares de 1700 a principios del siglo XXI (las fechas rojas marcan los registros de Alzate).

bridge) y Cuba, además de que su aparición coincide con registros de aumento en las manchas solares. Enric Aragonès Valls y Jorge Ordaz Gargallo presentan un catálogo razonado (con información obtenida de diarios, crónicas y fuentes manuscritas) de 80 auroras registradas en algunas regiones de España y Portugal (a latitudes relativamente bajas) entre 1716 y 1792, un periodo que coincide con gran actividad solar. En tanto, catalogan a la de 1789 como grande (en su escala de pequeña, mediana, grande y extraordinaria) y ponen interrogación tanto en el rubro de radiante (más que débil y tranquila) como en el de roja (y no blanca). Asimismo, presentan una relación del número de manchas solares registrado entre 1700 y 1796, y la del año de 1789 se percibe cerca del máximo de ese periodo [22].

Además, dada la forma circular de la aurora, Alzate estimó su saeta en  $12^\circ$  respecto del horizonte (hacia la estrella polar) y en  $38^\circ$  la cuerda que subtendía el arco. Con estos valores, dedujo la posición geográfica en el cenit de la aurora (hoy lo entenderíamos como un punto en el borde del óvalo auroral) y con ello trazó sobre un mapa del mundo un círculo de visibilidad en otras regiones del planeta.

Esta Aurora debió verse en Europa a la madrugada del 15: ya las noticias públicas nos describirán el fenómeno, que para esta parte del mundo debe haberse presentado muy brillante, como también a los habitantes de la Asia septentrional. En la América septentrional, esto es, Nuevo México, Sonora, California & c., debió registrarse con igual brillantez, salvo las circunstancias locales. También debió observarse, aunque muy débil, y de corta elevación en los obisposados de Puebla, Oaxaca, Chiapas, Guatemala, y en parte de Nicaragua [23].

En la última nota de su trabajo afirmó que sería visto también en Rusia:

El centro del círculo luminoso de la aurora se halló en el zenit o perpendicular en los grados 110 de longitud, y en los 48 de latitud boreal. En el desierto de Cobichamo al Norte del Tibet y Sur de Tobolsk, ciudad de la Siberia rusa, allí se presentaría como un quitasol o para lluvia, cubriendo casi la mayor parte del horizonte [24].

Esta predicción fue refutada por León y Gama (quien afirmaba que las auroras de tipo *regular*, como él había clasificado inicialmente la de 1789, solo se percibía en un meridiano), al igual que señaló algunas imprecisiones en su texto de una forma inadecuada que resultó ofensiva para Alzate, quien se molestó y, en su siguiente texto (1790) [25], justificó algunos de sus cálculos y empezó a criticar los dos primeros textos de León y Gama. En su tercera contribución (1790) [26], aumentó su tono burlón y descalificativo, y finalmente en el último (1791) proclamó su victoria [27], pues había

llegado a la capital la revista española *Memorial Literario*, donde se decía que la aurora se había visto en Barcelona al día siguiente y que, gracias a las primeras dos publicaciones de León y Gama, supieron que se trataba de la misma. Entonces, Alzate dijo: “¿Se enmendará el Señor de Gama, para que no se precipite otra vez su profunda Astronomía? Pocas veces se consigue triunfo tan completo como el que acabo de experimentar” [28]. A continuación, se transcribe la cita de la revista:

Por nuestro *Memorial Literario* del mes de diciembre, parte primera, de 1789, consta haberse visto la Aurora Boreal en Barcelona en la noche del 14 y madrugada del 15, y al anochecer del mismo día, en el mismo mes; y bien notoria es la gran distancia de Meridianos, pues las situaciones de Barcelona y México, se diferencian en latitud sobre 20 grados, y en longitud casi 200. En Madrid no vimos aquella Aurora (estando tan cerca) o bien sea porque aunque amaneció el día limpio, según nuestra observación de por la mañana, al anochecer se puso cubierto, como consta de la observación del *Diario de Madrid*, o bien porque aunque la hayan visto otros no llegó a nuestra noticia, o por otras causas que ignoramos. ¿Pudiera dudar si era la misma la que se vio en México que la de Barcelona? Si no lo fuera, también pudiera dudarse lo mismo de aquella que cita el autor de 19 de octubre de 1726 y otras, con esta que refiere Muschembroek (S. 1380) grandes o completas [29].

En general, y por la controversia que a nivel internacional había sobre la naturaleza de las auroras, Alzate se abstuvo de opinar por lo siguiente:

Conozco lo limitado de mis potencias, por lo que abandono la explicación a quien se hallase revestido de superiores luces: por lo mismo confieso mi ignorancia respecto al origen de la Aurora Boreal, y no me avergüenzo porque veo como Mr. Pingre, célebre Astrónomo, en la obra ya citada se expresa en estos términos: *Estas son las observaciones que hice de la Aurora Boreal, vista en Paris en 26 de Febrero de 1777: acaso me preguntara Vm. ¿cuál es mi dictamen sobre su naturaleza? Pero responderé a Vm lo mismo que a otras personas que me han propuesto la misma cuestión: la respuesta ha sido la confesión de mi ignorancia sobre la naturaleza y causa del fenómeno. Me inclinaría a creer se verifica alguna mayor analogía con los efectos del fluido eléctrico, que con los del magnético; pero suspendo mi juicio sin afirmar ni negar* [30].

Recientemente, Ramos-Lara, Durand-Manterola y Canales [31] utilizaron los valores de Alzate del cenit para estimar la altura utilizada por este novohispano en su estudio y encontraron 424 leguas, por lo cual resulta plausible que utilizara el dato de 500 leguas sugerido por Mairan tanto para la altura de las auroras como de la atmósfera.

En su segunda nota, la del 3 de marzo de 1790, Alzate aseveró que usó paralajes para encontrar los valores del cenit en el cenit de la aurora de acuerdo con los datos que obser-

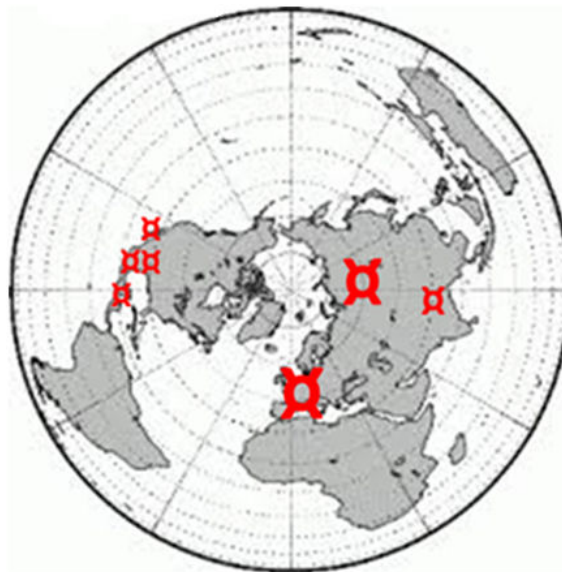


FIGURA 2. Fuente: Elaboración propia. Regiones donde Alzate predijo la visibilidad de la aurora.

vó de  $12^\circ$  de saeta y  $38^\circ$  de la cuerda, que subtiende el arco, y también para determinar la latitud más baja donde se vería (hasta parte de Nicaragua). Con esas latitudes, seguramente trazó un círculo en un mapa mundial y pudo predecir en qué regiones se vería al día siguiente, como se aprecia en la Fig. 2.

#### 4. Antonio de León y Gama

Antonio de León y Gama fue un brillante matemático, astrónomo y escritor de quien poco se sabe. Se le reconoce como autodidacta y ávido lector de las obras publicadas por célebres científicos como las del físico inglés Isaac Newton. Sus trabajos astronómicos recibieron el elogio del astrónomo francés Joseph Jérôme Lefrançois de Lalande (quien se comprometió a publicarle uno) y de Alejandro de Humboldt [32]. Este sabio novohispano publicó tres trabajos sobre la aurora boreal del 14 de noviembre de 1789, los dos primeros de manera anónima.

Anónimo, “Discurso sobre la Luz Septentrional, que se vio en esta Ciudad el día 14 de noviembre de 1789 entre 8 y 9 de la noche”, en *Gazeta de México*, tomo III, núm. 44, Imp. de Felipe de Zúñiga y Ontiveros, 1 de diciembre de 1789, pp. 431-447.

Anónimo, “Continuación del Discurso sobre la Aurora Boreal”, en *Gazeta de México*, tomo III, núm. 45, México, Imp. de Felipe de Zúñiga y Ontiveros, 22 de diciembre de 1789, pp. 444-447.

Antonio de León y Gama, *Disertación física sobre la materia y formación de las auroras boreales*, México, Imp. de Felipe Zúñiga y Ontiveros, 1790.

TABLA I. Relación de auroras boreales citadas en los trabajos de León y Gama.

Fecha	Lugar observado	Referencia
4 de noviembre de 1602	Observada en Nueva España (alta California, México)	Fray Juan deTorquemada
12 de septiembre de 1621	Observada en Provenza por Gasendo	Libro de Mairan
1 de febrero de 1707	Röemer en Dinamarca	Libro de Mairan
1 de marzo de 1707	Kirch en Berlín	Libro de Mairan
27 de noviembre de 1707	Neve en Irlanda	Libro de Mairan
20 de agosto de 1708	Halley en Inglaterra	Libro de Mairan
1709	Observada en Dinamarca	Libro de Mairan
17 de marzo de 1716	Vista en todas las partes septentrionales de Europa	Libro de Mairan
20 de septiembre de 1717	Observada en Upsal por Burmann	Libro de Mussenbroek
17 de febrero de 1721	Observada en Giessen (Alemania) por Liebknecht	Libro de Mairan
1 de marzo de 1721	Observada en Giessen (Alemania) por Liebknecht	Libro de Mairan
1722	Observada en Italia por Zanotti	Libro de Mairan
19 de octubre de 1726	Varsovia, Moscú, St. Petersburgo, Roma, Nápoles, Madrid, Lisboa y Cádiz	Libro de Mairan
15 de febrero de 1730	Observada en Ginebra por Cramer	Libro de Mairan
16 de marzo de 1730	Krafft en Petersbourg	
22 de diciembre de 1736	Celsio en la Laponia	
21 de enero de 1737	Celsio en la Laponia	
2 de octubre de 1731	Observada por Mairan	Libro de Mairan
1737	Observada por Poleni	Libro de Mussenbroek
27 de febrero de 1750	Observada en la Haya por el Dr. Gabry	Libro de Mairan
24 de agosto de 1750	Observada por Mairan	Libro de Mairan
24 de octubre de 1769	Madrid	Memoriales Literarios
18 de enero de 1770	Madrid (tipo Completa)	Memoriales Literarios
17 de septiembre de 1770	Nimes, Francia (tipo Pacífica) observada por Paulian	Diction. de Physic. tomo I, p. 266
17 de julio de 1773	Madrid	Memoriales Literarios
25 de febrero de 1778	Madrid	Memoriales Literarios
28 de junio de 1778	Madrid	Memoriales Literarios
9 de febrero de 1779	Madrid	Memoriales Literarios
10 de febrero de 1779	Madrid	Memoriales Literarios
15 de febrero de 1779	Madrid	Memoriales Literarios
18 de septiembre de 1779	Observada por Paulian en Francia	
9 de noviembre de 1779	Madrid	Memoriales Literarios
19 de febrero de 1780	Madrid	Memoriales Literarios
1 de marzo de 1780	Madrid	Memoriales Literarios
28 de julio de 1780	Madrid	Memoriales Literarios
13 de mayo de 1787	Madrid	Memoriales Literarios
13 de julio de 1787	Madrid (tipo Completa)	Memoriales Literarios
23 de junio de 1788	Madrid	Memoriales Literarios
17 de agosto de 1788	Madrid	Memoriales Literarios

Fuente: León y Gama [40].

En sus primeras dos notas anónimas provee información científica sobre las auroras boreales e indica que, al no contar con el suficiente espacio en la revista como para describir el fenómeno con mayor amplitud, se limita a mencionar lo esencial y promete dedicar un trabajo más extenso. Lo cier-

to es que sus notas resumen sagazmente el tema de las auroras y proporcionan datos complementarios a los que se proveen [33].

En estas notas expone la clasificación de las auroras. En ese tiempo, se les dividía en resplandecientes o tempestuosas y tranquilas o pacíficas, como se muestra en la Fig. 3. Las

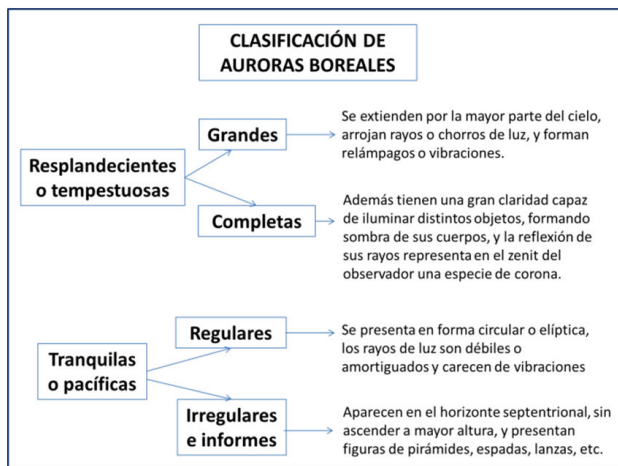


FIGURA 3. Fuente: Elaborado con información de León y Gama [35]. Clasificación de las auroras boreales a fines del siglo XVIII.

primeras se dividían en grandes y completas; las segundas, en regulares e irregulares. La observada el 14 de noviembre de 1789, desde su punto de vista, era del tipo regular. Sin embargo, cuando se dedicó a analizar los comentarios de las personas que la observaron en otras regiones del territorio novohispano, cambió de opinión.

La publicación de estas notas en la *Gazeta de México* garantizaba su circulación en la capital, en otras regiones de Nueva España y tenía la posibilidad de llegar a Europa, en particular a España. Debido a que la revista limitaba el número de páginas de los textos, León y Gama escribió y publicó un ensayo independiente, propiamente científico, donde amplió la información sobre las causas físicas, la composición y algunos modelos sobre auroras boreales. De esta manera, profundizó en sus características y los inconvenientes de las teorías científicas que estaban en circulación, para después enunciar la suya propia, aclarando lo mucho que faltaba para comprender dicho fenómeno a cabalidad. Reconocía que se encontraba ante una tarea “bien delicada, tratada por los mejores filósofos y matemáticos de nuestro siglo, y cuyas opiniones tienen en contra innumerables dificultades y argumentos” [36].

Asimismo, además de describir aquellas auroras vistas en Europa que le parecían espectaculares, se dedicó a buscar algunas observadas en España y en el Nuevo Mundo. Sorprendentemente, encontró referencias de que los mesoamericanos las habían visto, y descubrió el registro del fraile Juan de Torquemada donde describía una observada el 4 de noviembre de 1602, de tipo completa, circular, de color rojo, vista a las 20:30 horas, con duración de hora y media, aproximadamente [37]. Para el caso de la metrópoli, revisó la revista española *Memorial Literario*, donde encontró 16 más, que Paulian y Mairan no consideraron. En la Tabla I se enumeran las auroras mencionadas en sus trabajos.

Según los datos de la Tabla I, en la Fig. 4a se presenta la distribución de la observación de auroras de acuerdo con la fase lunar. Se aprecia, como era de esperarse, que la mayoría se perciben en periodos de menor luminosidad lu-

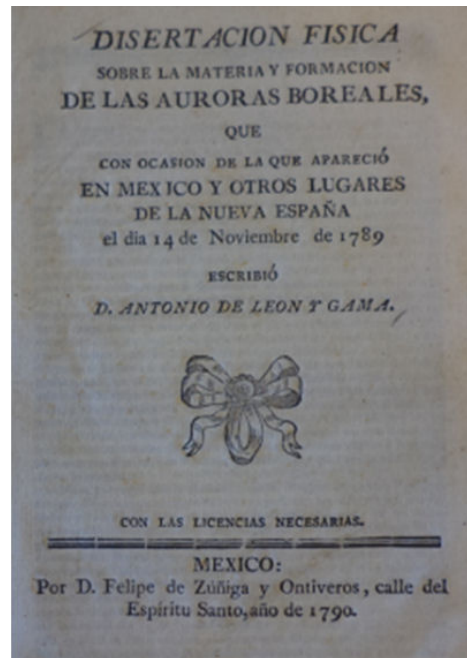


FIGURA Disertación física sobre la materia y formación de las Auroras Boreales de Antonio de León y Gama.

nar, esto es, cuarto menguante y luna nueva [41]. Por otro lado, León y Gama mencionó que de todas las auroras que observó Mussenbroek, el mayor número se presentó de marzo a mayo, mientras que para Mairan fue de octubre a marzo. De acuerdo con su muestra, los meses de mayor frecuencia corresponden a febrero, marzo, septiembre y noviembre, como se muestra en la Fig. 4b.

La *Disertación física sobre la Aurora Boreal* sobresale como el primer tratado amplio y completo de auroras boreales publicado en América, escrito con la formalidad de un artículo científico. En sus 37 páginas, menciona y detalla las fuentes de donde obtuvo la información (la mayoría europeas). Asimismo, define los conceptos fundamentales de su trabajo, como aurora boreal y atmósfera, de acuerdo con los diccionarios de física de la época. En general, su contenido ofrece tanto un panorama completo sobre el estado del arte de los modelos científicos que explicaban las auroras boreales durante el siglo XVIII, como el estudio y análisis original de la aurora observada el 14 de noviembre de 1789, donde calcula con precisión su altura. Sin lugar a duda, este fue, el primer cálculo en su tipo realizado en el Nuevo Mundo y el primero en el ámbito internacional sobre auroras boreales de baja latitud. Termina con una propuesta de un modelo nuevo, quizás alejado del aceptado actualmente, pero original y fundamentado en los insuficientes conocimientos de la época. Los resultados de su investigación le permitieron cuestionar o validar algunas ideas científicas y señalar incógnitas por resolver [42].

Su tratado es el primero que a nivel mundial documenta, estudia y analiza una aurora boreal de baja latitud. No tiene información respecto a si envió un ejemplar a Francia, pues esto hubiera sido de interés para el astrónomo francés

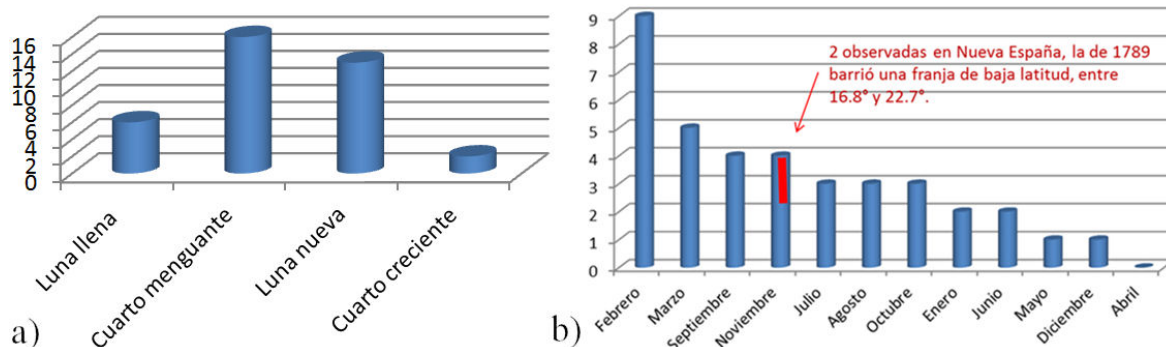


FIGURA 4. Fuente: León y Gama (dos notas de 1789 y Disertación de 1790). a) Fases de la Luna al momento de presentarse la aurora (1602-1789) y b) Frecuencia por mes en la que se presentaron las auroras de la muestra de León y Gama.

Lalande, con quien mantenía contacto y que también estudiaba las auroras. En Europa, con la noticia de una aurora observada a una latitud de  $16.8^\circ$ , se hubiera rectificado el límite establecido por Mairan y se habrían ampliado más interrogantes sobre el fenómeno.

En efecto, algo sucedió con el Sol que durante la mayor parte del siglo XVII y principios del siglo XVIII bajó considerablemente su actividad ordinaria. Esta disminución fue descubierta por Mairan cuando analizó cientos de auroras (elaboró el catálogo más completo de su época) entre los años 500 y 1731 de nuestra era (ver Fig. 5).

De acuerdo con los datos de Mairan (ver Fig. 4), León y Gama señaló dos incógnitas alrededor de las “luces septentrionales”: ¿por qué empezaron a verse en países meridionales en el siglo XVII y con mayor frecuencia a partir del siglo XVIII? ¿Por qué en aproximadamente un siglo no se observó alguna en Holanda ni en la mayor parte de Europa? Como ejemplo se refiere a Edmund Halley (1656-1742), quien a sus 60 años no había visto ninguna aurora en Inglaterra, pero cuando la observó (el 17 de marzo de 1716) hizo que la comunidad científica pusiera su mirada en dicho fenómeno al publicar un trabajo donde dio a conocer su propia teoría.

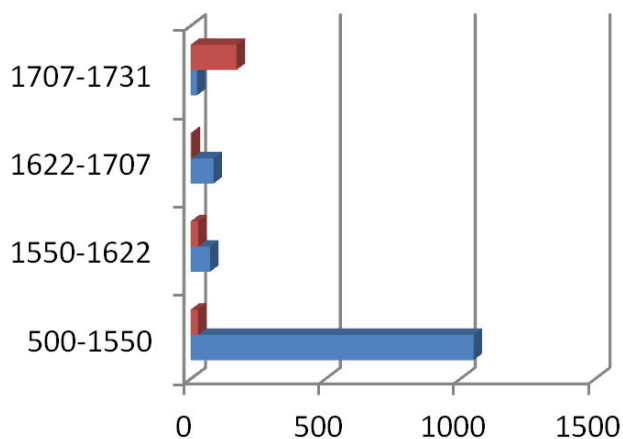


FIGURA 5. En azul se indican los años del intervalo de tiempo señalado; en rojo, el número de auroras. Fuente: Elaboración propia con datos de Mairan (1733, 199), quien señala una considerable disminución de auroras entre 1621 y 1726. Número de auroras registradas en el catálogo de Mairan entre el año 500 y 173.

Al respecto, León y Gama añadió lo siguiente: “parece que con el tiempo ha ido creciendo esta materia o se han hecho frecuentes sus apariciones, a lo menos en los países situados entre el círculo polar y el Trópico de Cáncer. En el siglo pasado se contaban pocas Auroras boreales” [43].

León y Gama reconocía, al igual que otros científicos, que las auroras eran un fenómeno difícil de comprender por su comportamiento impredecible y fluctuante, así como por los escasos recursos científicos y tecnológicos que se tenían para estudiarlo a fondo. Todo parecía indicar que las dificultades eran todavía mayores si se deseaba determinar la influencia que ejercían los astros cercanos, sobre la atmósfera como el Sol y la Luna, además de su relación o la falta de esta con las auroras.

Más de 100 años después, en 1894, el astrónomo inglés Edward Walter Maunder publicó un trabajo donde mostraba un prolongado mínimo de manchas solares entre los siglos XVII y XVIII, hoy conocido como Mínimo de Maunder (1645-1715). En 1976, John A. Eddy, identificó, con un número mayor de auroras boreales que el de León y Gama, una ausencia de estas en el Mínimo de Maunder, un intervalo parecido al de León y Gama (Fig. 6). Con ciertas reservas,

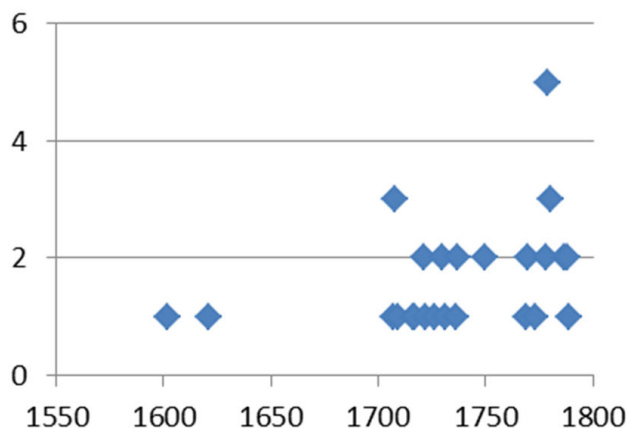


FIGURA 6. Fuente: León y Gama (dos notas de 1789 y Disertación de 1790). Número de auroras registradas por León y Gama entre 1602 y 1789, donde se advierte un periodo de ausencia de auroras.



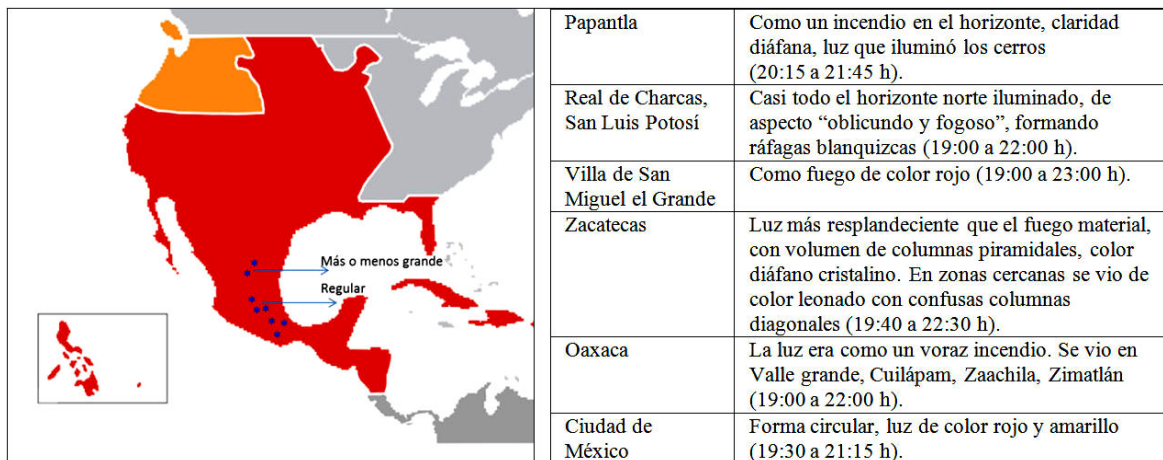


FIGURA 7. Fuente: León y Gama (Disertación, 1790) [49]. Ciudades novohispanas donde se observó la aurora boreal de 1789 y testimonios de algunos habitantes

percibió que un incremento en el número de auroras es seguido de un mayor aumento en la actividad solar y viceversa [44].

Para León y Gama, como para muchos científicos, resultó un enigma –y continúa siéndolo– la falta de aparición de auroras boreales entre 1621 y 1709 o 1716 [45]. Ahora bien, respecto al tratado de León y Gama, este lo dividió en cuatro secciones:

1. Diferencias, propiedades y variedad de circunstancias observadas en las auroras boreales.
2. Opiniones de algunos filósofos modernos y las objeciones que tienen en contra.
3. Noticias obtenidas de algunos lugares de esta Nueva España.
4. Opinión o juicio que he formado sobre su origen.

En la primera relata la aparición de varias auroras en el continente europeo, se refiere a su clasificación –explicada en su primer nota– y a su posible vínculo con la atmósfera. En la segunda aclara los pros y los contras de las teorías más reconocidas en esos años. El apartado empieza: “Luego que comenzaron a verse con frecuencia las luces septentrionales en los países cultos de la Europa, empezaron los filósofos y matemáticos a indagar la causa y materia de que se formaban” [46]. Entre los autores que citó y refutó se encuentran Halley, Franklin, Mussenbroek y Mairan [47], de manera que expuso su propia explicación en el cuarto apartado.

El tercero podría ser una de las secciones más interesantes para quien estudia las auroras boreales a bajas latitudes, pues ofrece información sobre los testimonios de algunas personas (que, desde su punto de vista, tenían un criterio objetivo) que observaron la aurora en distintos lugares de Nueva España: en la capital, en Hidalgo, en Guanajuato, en Veracruz, en San Luis Potosí, en Zacatecas y en Oaxaca [48]. Por las descripciones, León y Gama clasificó la de la capital como

tipo “regular”, y las de Charcas y Zacatecas como “más o menos grande” (por presentar columnas y rayos luminosos principalmente). En la Fig. 7 se presenta un resumen de las declaraciones y no se incluyen las de la villa de Guadalupe ni San Juan Teotihuacan, donde su visibilidad fue mínima.

Después de analizar las notas de los pobladores, León y Gama amplió la clasificación de la aurora de 1789 en completa, grande o pacífica, dependiendo de la región de la observación. Además concluyó lo siguiente:

1. Las auroras vistas en distintas regiones el mismo día corresponden a una sola [50].
2. Una misma aurora puede presentarse del tipo completa, grande o pacífica en distintas regiones.
3. Las “circunstancias locales” contribuyen a que, en algunos lugares, se vea más “encendida” que en otros.

El último apartado está dedicado a las explicaciones europeas del fenómeno, las cuales calificaba como “supuestos”, incluyendo la de Mairan. En su opinión, ninguna pasaba las pruebas físicas y matemáticas, como lo hizo Newton. En estos términos, él propuso una que parecía “ser la más natural, la más sencilla y la que mejor se demuestra, así por el cálculo, como por los experimentos”, basada en tres proposiciones [51]:

1. La aurora boreal tiene su asiento superior a la atmósfera de la Tierra.
2. La materia que la compone es el éter y el agente que lo excita es la Luna.
3. La variedad de colores que presenta, y la actividad de su luz dependen de nuestra atmósfera.

León y Gama calculó la altura de la aurora y obtuvo un resultado de 104.5 a 115.5 leguas (463.98 y 512.82 km, respectivamente) mediante operaciones trigonométricas [52].

Un valor preciso si consideramos que en el siglo XX se logró medir con cálculos trigonométricos basados en material de equipo fotográfico de alta sensibilidad y el valor se estimó encima de los 100 km [53] hasta cerca de los 1100 km.

Para determinar si esta altura correspondía a la atmósfera o iba más allá, León y Gama reflexionó sobre las diversas estimaciones que se habían hecho en Europa, las cuales –desde su punto de vista– iban de 1 a 10 leguas; sin embargo, él creía que 4 ya eran demasiadas y su justificación fue la siguiente:

Demasiada altura; porque si examinamos todos los fenómenos que se observan en ella, hallaremos que la línea en que comienza la congelación de la nieve, es de solas 2400 toesas sobre el nivel del mar, como lo experimentó M. Bouguer en todas las altas montañas del Perú: que los halones, los parhelios, y otros meteoros, no tienen más elevación que una legua, o legua y media: que las nubes no ascienden a mayor altura y finalmente que no se sabe hasta ahora de otro fenómeno que diste más de 4 leguas de la Tierra. Por lo cual, siendo como es el cálculo de Luc comprobado con tan repetidas y exactas operaciones, debemos estar a él, mientras no hubiere otro que demuestre en contrario mayor altura; porque verdaderamente dentro de ese volumen se observan todos los meteoros aéreos, ígneos y aquíeos” [54].

León y Gama difería de Mairan al opinar que la aurora boreal se forma más allá de la atmósfera, aunque los colores observados sí dependían de esta. Su composición la atribuía al éter, “compuesto por rayos de luz o materia del fuego como la llamaba Mussenbroek”, el cual se encontraba en la atmósfera terrestre y, de manera más tenue, entre esta y las estrellas. Respecto a ¿cuál es el agente que pone en movimiento los sutiles vapores del éter?, consideró que era “un enigma a develar”, pero seguramente “es de origen extraterrestre”, como podría ser el efecto con la Luna. Por último, sobre la razón por la cual fue observada diferente en distintos lugares de Nueva España, su respuesta fue que las condiciones atmosféricas de cada lugar eran diferentes [55]. Su idea es original, diferente a cualquier otra que circulaba en el mundo y bien razonada, pues el Sol y la Luna eran los astros que podían excitar el éter. Al Sol ya lo había descartado al considerar errónea la asociación que hiciera Mairan con la luz zodiacal.

## 5. José Francisco Dimas Rangel

Sobre Francisco Dimas Rangel se sabe todavía menos que de León y Gama. Nació en Valladolid (hoy Morelia), sobresalió como impresor y fue uno de los mejores relojeros de Nueva España. Como otros relojeros novohispanos estuvo interesado en el conocimiento científico (al igual que Diego de Guadalajara y Tello), por ello, fue invitado –de la misma manera que Alzate y León y Gama– a las Tertulias del virrey Flores [56], una actividad común entre los astrónomos novohispanos, fomentada en antaño por el destacado astrónomo y

matemático Joaquín Velázquez Cárdenas de León, primer director del Real Tribunal de Minería y del Real Seminario de Minería [57]. Rangel escribió dos obras: la primera en 1787 (extraviada), *Advertencias para el buen uso de los relojes de faltriquera y para hacer juicio de su bondad*, y la de 1789, *Discurso físico sobre la formación de las auroras boreales* [58], cuyos ejemplares solo se encuentran en bibliotecas y archivos de otros países [59].

El primer trabajo publicado por Dimas Rangel sobre auroras fue el *Discurso físico...*, y el segundo fue una carta titulada “Carta de D. Francisco Rangel al Autor de la Gazeta de Literatura que contiene varias reflexiones tocantes al sistema de D. Antonio de León y Gama, al pie de ellas ciertas notas de un anónimo”, publicada en la *Gazeta de Literatura*, vol. II, núm. 15, 22 de marzo y 5 de abril de 1791, pp. 146-158. Con este trabajo se cerró la polémica entre los tres novohispanos.

En su *Discurso físico...* propone un modelo que contiene un par de elementos de la teoría de auroras avalada actualmente por la comunidad científica, además de que diseña y presenta un experimento con la intención de reproducir algunas características de la aurora, para corroborar experimentalmente sus ideas. Él también se refiere a los debates que tenían los científicos con respecto a la naturaleza, la composición, el lugar donde se producían las auroras y su altura.

Ante la falta de una teoría convincente, Dimas Rangel también expuso la suya, acompañándola de un experimento que la demostrara. En su modelo tomó una posición respecto a las siguientes variables: la naturaleza, la composición y la altura de las auroras. En relación con la altura señala varios valores muy diferentes, como el de Euler de 1000 leguas, Mairan de 500 leguas, Paulian de 260 y el abate Para y Berger entre 2 y 16 leguas. Él opta por estos últimos, totalmente diferentes a los de Alzate y de León y Gama.

De los modelos describe y refuta los más difundidos en Nueva España, mencionados al inicio, aunque considera dos elementos. Del abate considera que las exhalaciones fosfóricas son simplemente “gas inflamable” (hidrógeno) y del astrónomo francés Monsieur de Lande retomó la idea de que la electricidad es el causante de encender dicho gas.

De acuerdo con esto, en su opinión, la naturaleza de la aurora era tipo “hipostático” y real y no “enfático” o aparente, como era el arcoíris, pues desde su punto de vista se observan llamas y humo en las auroras, lo que demuestra que hay elementos inflamables, a partir de lo cual señala:

- Para confirmación de lo dicho, hágase un tubo de vidrio de dos tercias partes o media vara, purgado de aire lo más que se pueda y cerrado herméticamente de modo que el poco aire que resta dentro casi esté tan raro como el gas. Si se toma con una mano este tubo por una de sus extremidades y por la otra se aplica al conductor de la máquina eléctrica al punto se ve iluminarse lo interior de este tubo por toda su longitud; cuando se conoce que la luz se va debilitando, sólo con frotar el tubo con la otra mano o tomarlo con ella por la otra extremidad se reanima la luz, centellea de tiempo

en tiempo y dispara rayos de luz de un lado a otro, o en fin hacer efectos semejantes a los Aurora Boreal; y suelen durar hasta veinte y cuatro horas, sin necesitarse de nueva electrización [60].

Con esta experiencia, Dimas Rangel comprueba su explicación científica. Galindo ha mostrado que el proceso de emisión de la luz en este experimento es el mismo que en las auroras boreales, esto es, cuando chocan partículas eléctricas contra el oxígeno atmosférico se emite luz de color rojo [61]. S. Galindo y D. Galindo comprobaron que Dimas Rangel observó la línea de Balmer  $H\alpha$  de una descarga luminiscente del hidrógeno. De esta manera, el brillo auroral que observó correspondía a las transiciones del oxígeno  $^3P \rightarrow ^1D$  que producen auroras rojas [62]. S. Galindo subraya que Dimas Rangel no estaba equivocado con su especulación sobre la emisión de luz [63].

De igual manera, Moreno Corral y López Molina mostraron que este trabajo tiene un gran valor histórico para la química experimental en México, por ser “uno de los escritos científicos mexicanos más antiguos donde se habla con amplitud del proceso de obtención del hidrógeno” [64] y quizá lo sea del continente americano.

*Carta de D. Francisco Rangel al Autor de la Gazeta de Literatura que contiene varias reflexiones tocantes al sistema de D. Antonio de León y Gama...*

Este es un documento que aporta información valiosa sobre el estado de las ciencias de la atmósfera y de la geofísica en aquellos años, los procedimientos para su estudio y su hilo conductor, que consiste en la impugnación de ciertas partes del tratado de León y Gama. En este apartado se alude a la relacionada con el cálculo de la altura de la aurora boreal. Rangel afirma que entre su modelo y el de León y Gama hay tres diferencias sustanciales, las cuales se mencionan en la Tabla II.

A diferencia de León y Gama, Dimas Rangel supuso que las auroras se formaban en la atmósfera, cuya altura máxima correspondía a 16 leguas. Aunque Dimas no justificó matemáticamente que el “gas inflamable” alcanzara esa altura, refutó el cálculo de León y Gama atribuyéndole el haber usado valores algunos “falsos”, otros “dudosos” y otros de “capricho”. Se refería concretamente a la posición de la Ciudad de México y de Zacatecas, a los  $15^\circ$  de la altura angular (a diferencia de los  $12^\circ$  de Alzate) y a la decisión de poner en su ecuación el triple de la diferencia entre la latitud de la Ciudad de México con Zacatecas (también cuestionada por Alzate) y menciona que “esta diferencia no es des-

preciable para la distancia entre ambos lugares, ni para una demostración trigonométrica de esta clase” [66]. Pareciera que si se corrigen los valores que él dice, la altura se aproximará al valor que él propone, pero no es así.

En su *Disertación...*, León y Gama explicó por qué descartó tanto el valor sencillo como el doble y eligió el triple:

- ... procediendo con exceso (pues no se verifica tanta diferencia en las alturas que trae Mairan observadas en distintos lugares) para hacer ver la grande elevación que tiene este fenómeno, respecto de la superficie de la Tierra, aun formando el cálculo en los términos menos favorables; porque cuanta menor altura aparente hubiera tenido en Zacatecas, tanta mayor resultará su altura verdadera, aunque se rebajen también dos o tres grados de la observada en México. Pues suponiendo la altura angular en Zacatecas de 20 grados, y en México de 12; resueltos los triángulos en la forma que se ha ejecutado, resultarán 115.5 leguas por verdadera altura, como se puede ver procediendo a formar el cálculo de nuevo [67].

Ramos-Lara, Durand-Manterola y Canales reprodujeron los cálculos tanto de Alzate como de León y Gama y sus resultados se resumen a continuación [68]:

1. En la diferencia sencilla, el ángulo entre la distancia de la Ciudad de México y de Zacatecas a la aurora se anula y el valor de la altura se va a infinito, lo cual no tiene sentido.
2. En la diferencia doble, la altura calculada fue de 201.4 leguas, equivalente a 894 km. Un valor todavía congruente con las estimaciones actuales para auroras de baja latitud y afín con el color rojo característico de esta aurora.
3. En la diferencia triple, el valor que obtienen es de 103.5 leguas, muy próximo al de León y Gama.

Incluso para 25.7 veces la diferencia, el máximo donde se tiene la aurora en el cenit resulta de 24.5 leguas, es decir, 109.5 km. Con lo anterior se descarta la objeción de Dimas Rangel.

De igual manera, los autores estimaron el radio del óvalo auroral en 4519 km, un óvalo prácticamente circular, cuyos extremos se situaron en Zimatlán (México) en el continente

TABLA II. Diferencias en los modelos de auroras de Dimas Rangel y León y Gama.

	Dimas Rangel	León y Gama
¿Dónde se forman las auroras?	Dentro de la atmósfera	Más allá de la atmósfera
Composición	Gas inflamable	Éter
Agente que “inflama”	Electricidad	Luna

americano y en Barcelona (España) en el europeo. Asimismo, calcularon el punto sub-cenital en  $30^\circ/17^\circ$ . Es conveniente señalar que en 1859 se produjo otra aurora de baja latitud también vista en México [69]. Esta, mejor conocida como el evento Carrington, fue analizada por Silverman y Clever, quienes en su trabajo mencionan que las auroras de baja latitud pueden llegar hasta los 850 km de altura [70], un valor cercano al de León y Gama si se toma en cuenta la dupla en la diferencia de latitudes. Por otro lado y debido a que la tormenta solar que generó el evento Carrington ha sido considerada la más potente registrada en la historia sería interesante compararla con la de 1789.

## 6. Comentario final

Después de aludir a los excelentes trabajos científicos que publicaron Alzate, León y Gama y Dimas Rangel, queda la duda sobre cuántos circularon en Europa, además de los dos primeros de León y Gama que llegaron a España. Si bien Mairan, Halley, Mussenbroek y Euler habían muerto, todavía vivían los astrónomos franceses Joseph Lalande y Alexandre Guy Pingré –y otros científicos interesados en tan enigmático fenómeno– con quienes León y Gama y Alzate tenían comunicación. Los astrónomos europeos pudieron haber tenido información sólida y completa sobre la primera aurora de baja latitud estudiada en el mundo, todavía conveniente para los estudiosos de la evolución tanto de Sol como de la atmósfera terrestre. El tema sigue abierto para futuros análisis sobre este tema, mediante el cual la célebre astronomía novohispana cerró brillantemente una de sus etapas.

- 
- \*. María de la Paz Ramos-Lara realizó estudios de Física, Maestría en Ciencias y doctorado en Historia en la UNAM. Premio Dr. Enrique Beltrán y Medalla Sor Juana Inés de la Cruz. Es autora de tres libros, miembro del Sistema Nacional de Investigadores y fundadora del Programa de Investigación Historia de la Ciencia, de la colección de libros La Ciencia y la Tecnología en la Historia de México, de la colección de facsímiles Bibliotheca Mexicana Historiae Scientiarum y recientemente del Laboratorio de Investigaciones Interdisciplinarias y Ciencias de la Complejidad (LIICC).
  - 1. J. J. D. Mairan, *Traité physique et historique de l'aurore boréale*. (de L'Imprimerie Royale, París, MDCCXXXIII). También circuló en Nueva España la edición de 1754.
  - 2. Alzate, al contemplar el fenómeno, exclamó “me tenía perplejo”; León y Gama se preguntó si sería la primera vez que se presentaba en Nueva España; Dimas Rangel expresó “como era cosa que no esperaba ver en este clima jamás fijé la atención”. última cita de J. F. Dimas Rangel, *Discurso Físico sobre la formación de las auroras boreales* (Ciudad de México, imprenta de los herederos de José de Jáuregui, diciembre 1789), p. 1.
  - 3. Luna y Biro analizaron el debate desde la óptica de la esfera pública (un espacio de reunión colectiva para discutir problemas o temas en común) caracterizada en la Ilustración por: formas de sociabilidad diferentes, aumento en el número de periódicos (entendidos como vehículos de la opinión pública) y el discurso crítico. A. Luna, S. Biro, “La ciencia en la cultura novohispana: el debate sobre la aurora boreal de 1789”, *Revista Mexicana de Física E* **63** (2017) 87-94.
  - 4. Las discrepancias desplegadas en sus primeros trabajos atrajeron la atención de otros novohispanos que, sin formación especializada, circulaban comentarios y dudas de unos hacia otros, esperando escuchar respuestas que les permitiera saber quién tenía razón. Lo que ellos no sabían era que esta misma incertidumbre, confusión y controversia se daba en la esfera internacional. El inconveniente en la capital novohispana fue que el debate entre los tres sobrepasó el lenguaje formal y científico dando lugar a contenidos ásperos y sarcásticos que descalificaban algunas de las propuestas.
  - 5. Los autores fueron Benjamín Franklin, Dimas Rangel y León y Gama.
  - 6. C. Savage, *Aurora The mysterius Northern Lights*. (Greystone Books, Canada, 1994).
  - 7. Musenbroek fue el autor de uno de los libros más populares de la época, con circulación mundial *Cours de Physique Experimentale et Mathématique*. Varias obras de este autor fueron utilizadas para enseñar física en Nueva España. M. P. Ramos-Lara, *Difusión e Institucionalización de la mecánica newtoniana en México en el siglo XVIII*. (SMHCT y Universidad de Puebla, México, 1994).
  - 8. En este trabajo, siempre que se use la palabra “leguas” se refiere a las francesas, donde una legua francesa es equivalente a 4.44 km. En esos años, también usaban leguas alemanas y leguas castellanas.
  - 9. L. García Barrón, “Explicación científica de los fenómenos meteorológicos en la ‘regia sociedad’ durante el siglo XVIII”, *Revista Española de Física*, **16** (2002) 51.
  - 10. De ahí que la primera partición de la atmósfera en dos capas –la tropósfera y la estratósfera– se realizara hasta 1902, gracias a los avances tecnológicos (como el globo sonda meteorológico) que permitieron elevar instrumentos a alturas superiores a los 12 km. R. M. Goody, *The Physics of the Stratosphere*. (Cambridge University Press, Cambridge, 1958), pp. 1-2.
  - 11. E. Trabulse, *Historia de la Ciencia en México. Siglo XVIII*. (Conacyt y FCE, México, 1985), p. 19.
  - 12. A. Saladino García, *Dos científicos de la Ilustración Hispanoamericana: J. A. Alzate y F. J. de Caldas*. (UNAM, UAEM, México, 1990), pp. 13 y 101. Saladino también destaca la importancia de la actividad periodística de Alzate desde el panorama latinoamericano. A. Saladino García, *Ciencia y prensa durante la Ilustración Latinoamericana*. (UAEM, México, 1996).
  - 13. Roberto Moreno señala que Alzate empezó a recibir los merecidos reconocimientos a su labor científica y periodística después

- de su muerte y durante más de dos siglos se ha producido literatura mediante la cual se ha ido “conformando su imagen”. R. Moreno de los Arcos, “Un eclesiástico criollo frente al Estado Borbón”. En R. Aureliano, A. Buriano y S. López (coordinadores), *Índice de las Gacetas de Literatura de México de José Antonio Alzate y Ramírez*. (Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora, México, 1996), p. 35.
14. Del amplio abanico de campos cultivados por Alzate, para él, la astronomía era la de mayor interés, pues desde su punto de vista había alcanzado un alto grado de perfección. A la física y a las matemáticas las consideraba un prototipo de ciencias. M. P. Ramos-Lara, “Alzate y la física en sus Gacetas de Literatura”, en *Periodismo científico en el siglo XVIII: José Antonio Alzate y Ramírez* (Patricia Aceves Ed.) (México, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, 2001), pp. 403-430.
  15. Las *Gacetas de Literatura de México* han tenido varias reediciones (incluidas las digitalizadas), así que el número de paginación dependerá de la edición de que se trate.
  16. J. A. Alzate (1789), “Noticia del meteoro...”, p. 232.
  17. S. Galindo, A. Saladino, “An early comment on the sunspot-climate connection”. *Rev. Mex. Fis. E* **54** (2008) 234.
  18. S. Candace, *Aurora: The mysterious Northern Lights*. (Greystone Books a division of Douglas & McIntyre Ltd., Canada, 1994) p. 82.
  19. Douglas V. Hoyt, y Kenneth H. Schatten mencionan que las primeras observaciones de las manchas solares datan de la antigüedad y con la invención del telescopio se empezaron a realizar registros y seguimientos sobre sus cambios. No obstante, en el siglo XVII algunos científicos los asociaron con cambios en el clima. Los estudios más serios se llevaron a cabo hasta el siglo XIX. Quizás esta asociación entre manchas solares y el clima explique por qué Alzate realizaba meticulosamente los registros de las manchas solares al igual que los del clima. D. V. Hoyt, K. H. Schatten, *The role of the Sun in climate change*. (Oxford University Press, Inc., New York, Oxford, 1977). Consultado en marzo de 2020 en [http://library.uniteddiversity.coop/Climate\\_Change/The\\_Role\\_of\\_the\\_Sun\\_in\\_Climate\\_Change.pdf](http://library.uniteddiversity.coop/Climate_Change/The_Role_of_the_Sun_in_Climate_Change.pdf)
  20. Salcedo señala que Hoyt y Schatten omitieron las observaciones que hiciera José Antonio Alzate del 3 de junio, agosto y 9 de noviembre de 1769 y la del 20 de julio de 1786. L. E. Salcedo Camacho, *Tempus solaris: algunas nociones sobre la actividad solar, las variaciones seculares del carbono-14 atmosférico y los estadios del isótopo de carbono*. (Intersur, Lima, 2011) p. 39.
  21. J. M. Vaquero, M. A. Moreno-Corral, “Historical sunspot records from Mexico”, *Geofísica Internacional* **47** (2008) 189-192. También se puede consultar el trabajo de J. M. Vaquero, R. M. Trigo, M. C. Gallego y M. A. Moreno-Corral, “Two early sunspot observers: Teodoro de Almeida and José Antonio Alzate”, *Solar Physics* **240** (2007) 165.
  22. E. Aragonès Valls, J. Ordaz Gargallo, “Auroras boreales observadas en la Península Ibérica, Baleares y Canarias durante el siglo XVIII”, *Treb. Mus. Geol. Barcelona*, **17** (2010) 45-110.
  23. J. A. Alzate (1789), “Noticia del meteoro...”, p. 234.
  24. *Idem*.
  25. J. A. Alzate (1790), “Carta del autor...”.
  26. J. A. Alzate (1790), “Disertación (nombrada) Física...”.
  27. J. A. Alzate (1791), Sin título.
  28. *Ibid.*, p. 75.
  29. *Ibid.*, pp. 75-76.
  30. Alzate (1790), “Carta del autor...”, p. 104.
  31. M. P. Ramos-Lara, H. Durand-Manterola, S. A. Canales, “*The Low Latitude Aurora Borealis of 1789*”, *Advances in Space Research* (en prensa).
  32. C. M. Bustamante (editor). *Descripción histórica y cronológica de las dos piedras, que con ocasión del nuevo empedrado que se está formando en la plaza principal de México, se hallaron en ella el año de 1790* por Don Antonio de León y Gama (2ª ed.). (Imprenta del ciudadano Alejandro Valdés, México, 1832).
  33. Elías Trabulse reprodujo la *Disertación* en 1985, pero no las notas.
  34. A. León y Gama (1789), “Discurso sobre la luz septentrional...”, pp. 433-434.
  35. *Ibid.*, p. 434.
  36. A. León y Gama (1790), *Disertación física...* p. 1.
  37. A. León y Gama (1789) “Continuación del Discurso...”, p. 445. S. Galindo, “Alzate y las auroras boreales”, *El astrónomo José Antonio Alzate y Ramírez*, en S. Galindo, M. A. Moreno, A. Saladino (editores) (ININ/SUTIN/Innovación Editorial Lagares de México, México, 2010) pp. 75-107.
  38. J. J. D. Mairan, *Traité physique et historique de l'aurore boréale*, 1754.
  39. J. Mussenbroek, *Cours de Physique Experimentale et Matheématique*.
  40. A. León y Gama: dos notas de 1789 y *Disertación física* de 1790
  41. Estos datos coinciden con la muestra de Aragonès y Ordaz (2010), *op. cit.*, p. 58.
  42. En este trabajo vuelve a retomar el punto de la clasificación de las auroras boreales propuesta en esos años de acuerdo con sus formas, tamaños, colores, intensidad, figuras, vibraciones y movimientos. Además de aludir a los mitos, los miedos y los prejuicios de los pobladores que ocasionalmente las llegaban a observar.
  43. A. León y Gama (1790), *Disertación física...* pp. 6 y 8.
  44. J. A. Eddy, “The Maunder Minimum”. *Science* (New Series) *vol. 192*, no. 4245 (Jun. 18, 1976) 1189-1202. DOI: 10.1126/science.192.4245.1189
  45. A. León y Gama (1790), *Disertación física...*, p. 6.
  46. *Ibid.*, p. 6.
  47. Roberto Moreno afirmó que el libro de Mairan formaba parte de la biblioteca de Antonio de León y Gama. R. Moreno, “La Biblioteca de Antonio de León y Gama”, *Ensayos de bibliografía mexicana*, (México, UNAM, 1986), p. 187.
  48. A. León y Gama (1790), *Disertación física...*, pp. 12-14.
  49. Mapa del Virreinato de la Nueva España. Archivo de Wikimedia Commons.

50. León y Gama afirmó que aquella era una duda que expuso Mussenbroek en uno de sus libros y ahora él la aclaraba.
51. A. León y Gama (1790), *Disertación física...*, p. 15.
52. *Ibid.*, p. 25.
53. Robert Marc Friedman. "Making the Aurora Norwegian: Science and image in the making of a tradition". *Interdisciplinary Science Reviews*, Vol. 35 No. 1, March, 2010, 51-68. Consultada en marzo de 2020 de [https://www.researchgate.net/publication/228300496\\_Making\\_the\\_Aurora\\_Norwegian\\_Science\\_and\\_Image\\_in\\_the\\_Making\\_of\\_a\\_Tradition](https://www.researchgate.net/publication/228300496_Making_the_Aurora_Norwegian_Science_and_Image_in_the_Making_of_a_Tradition)
54. A. León y Gama (1790), *Disertación*, p. 20.
55. *Ibid.*, pp. 26-30.
56. H. Téllez Nieto, J. M. Espinosa Sánchez, "La astronomía teórica novohispana: Francisco Dimas Rangel y la aurora boreal de 1789", *Relaciones* 30 (2009) 183.
57. M. P. Ramos-Lara, M. P. "La enseñanza de la física en México en el siglo XVIII: el proceso de institucionalización", *Rev. Mex. Fis.* 45 (1999) 193. [https://rmf.smf.mx/pdf/rmf/45/2/45\\_2\\_193.pdf](https://rmf.smf.mx/pdf/rmf/45/2/45_2_193.pdf)
58. J. F. Dimas Rangel, *Discurso Físico sobre la formación de las auroras boreales* (Ciudad de México, imprenta de los herederos de José de Jáuregui, diciembre 1789).
59. Se encuentra en la Biblioteca Nacional de Chile, en la Biblioteca del Congreso de Estados Unidos, al igual que en las bibliotecas de las universidades de Iowa, Berkeley y Brown. Consultado en: <http://www.scielo.org.mx/img/revistas/rz/v30n117/html/a7d.html>
60. *Ibid.*, p. 4.
61. S. Galindo, "Alzate y las auroras boreales", *El astrónomo José Antonio Alzate y Ramírez* (S. Galindo, M. A. Moreno, A. Saladino, editores) (ININ/SUTIN/Innovación Editorial Lagares de México, México, 2010) pp. 75-107.
62. S. Galindo, D. Galindo, "An 18th glow discharge experiment to model an aurora", *Am. J. Phys.* 78 (2010) 902.
63. S. Galindo (2010) "Alzate y las auroras boreales"...
64. M. A. Moreno-Corral, M. G. López-Molina, "Experimental Chemistry in Mexico at the end of the XVIII century. Comments on the *Discurso físico sobre la formación de las Auroras Boreales*, by José F. Dimas Rangel, 1789", *Bol. Soc. Quím. Méx.* 2 (2008) 63-66.
65. F. Dimas Rangel (1791), "Cartas...", p. 148.
66. *Ibid.*, p. 150.
67. A. León y Gama (1790), *Disertación física...*, p. 25.
68. M. P. Ramos-Lara, H. Durand-Manterola, S. A. Canales, "The Low Latitude Aurora Borealis of 1789", *Advances in Space Research* (en prensa).
69. J. A. González-Esparza, M. C. Cuevas-Cardona, "Observations of low-latitude red aurora in Mexico during the 1859 Carrington geomagnetic storm". *Space Weather* 16 (2018) 593, <https://doi.org/10.1029/2017SW001789>
70. S. M. Silverman, E. W. Cliver, "Low-latitude auroras: the magnetic storm of 14-15 May 1921", *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 63 (2001) 523.