
Los albores de la electricidad atmosférica en las calendas de Benjamin Franklin

The dawn of atmospheric electricity in the times of Benjamin Franklin

JOAQUIN PELKOWSKI

Pelkowski, J. 2006: Los albores de la electricidad atmosférica en las calendas de Benjamin Franklin. *Meteorol. Colomb.* **10**:146-160. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.

Resumen

El año en que nace la electricidad atmosférica como disciplina de las ciencias atmosféricas puede fijarse con insólita exactitud. En 1752 se comprueban los dos hechos pertinentes: los fenómenos propios de las nubes tormentosas son de la misma naturaleza que la electricidad artificial (o de laboratorio), como lo demostraba Dalibard en un experimento sugerido poco antes por Benjamin Franklin; y el aire libre de nubes está electrizado, descubrimiento capital realizado por Lemonnier ese mismo año. Recordar algunos acontecimientos alrededor de estos descubrimientos, enmarcados por especulaciones antiguas y unos desarrollos posteriores, he ahí el propósito de este artículo.

Palabras clave: Historia de la electricidad atmosférica, Franklin, Lemonnier

Abstract

The year marking the beginning of atmospheric electricity as a branch of the atmospheric sciences can be pinned down with unusual accuracy. In 1752 the two pertinent facts are ascertained: that the phenomena typical of thunderstorms are of the same nature as those of artificial electricity (as generated in the laboratory), as Dalibard demonstrated with an experiment suggested a little earlier by Benjamin Franklin, and secondly, that fair weather air is electrified, which was Lemonnier's no less significant discovery in that very year. To recall some events surrounding these discoveries, bracketed by former speculations and some later developments, is the aim of this paper.

Keywords: History of atmospheric electricity, Franklin, Lemonnier

Introducción

Hoy sabemos que en la atmósfera siempre se encuentran cargas eléctricas libres, de signo opuesto, genéricamente conocidas como iones. Los fenómenos atmosféricos asociados con estas cargas pertenecen al reino de la electricidad atmosférica. Fenómenos como el relámpago, los rayos y los truenos, entre otros, menos temibles, constituyen los electrometeoros.

Con motivo del tricentenario del nacimiento de Benjamin Franklin, se estará de más justipreciar de nuevo con la siguiente exposición el famoso experimento que un hombre extraordinario, “educador de la humanidad”, propuso para demostrar la naturaleza eléctrica de las nubes tormentosas. También celebramos de paso el bicentenario de la muerte de Coulomb, quien nos legó para siempre la ley de la fuerza de atracción y repulsión entre dos cargas eléctricas, tan atractiva como la ley de la gravedad universal. Y por qué no mencionar que también se cumple el centenario de la adjudicación del premio Nobel al descubridor del electrón, protagonista de esta narración, J.J. Thomson (1856-1940).

El bosquejo histórico que sigue no pretende ser más que una ojeada de lo que es una larga y fascinante historia de las mitologías y teorías en torno a los electrometeoros, huérfana de un historiador enterado y concienzudo. El tono y sujeto jovial con que arrancaremos sólo pretende contrastar las fantasías mito-filosóficas con las sobrias, aunque destellantes y chisporroteantes, indagaciones de los sabios dieciochescos. El resto de la historia quedará circunscrita a los hitos principales hacia el establecimiento de la disciplina en cuestión, que nace en pleno siglo de la Ilustración.

Una tormenta es, según algún manual de meteorología, una perturbación atmosférica, acompañada de rayos y truenos, con abundante precipitación de lluvia, y muchas veces de granizo y hasta de pedrisco. En cualquier momento, la Tierra es azotada por unas 2000 tormentas, infundiendo un pavor milenar a las criaturas que insisten en pasearse por nuestro valle de lágrimas. De ahí nuestro afán innato por saber cómo se forma una tormenta, cómo se carga eléctricamente y da rienda suelta a su furor en el seno de desgarradas nubes, cómo se engendra el rayo con sus vertiginosas convulsiones en medio de un espantoso rugido, y cómo desaparece después de haber agotado su energía en múltiples descargas. De todos los fenómenos atmosféricos que conocemos, sólo el huracán hace alarde de fuerzas más formidables.

El globo terrestre y la atmósfera son dos inmensos depósitos de electricidad, entre los cuales hay intercambios perpetuos, descomposición y regeneración (el circuito global). En estado normal, la superficie del globo terráqueo se halla cargada de electricidad negativa, mientras que la atmósfera está cargada positivamente. Este simple esquema se enturbia al considerar la distribución de cargas positivas y negativas dentro de una nube tormentosa, que es bastante complicada.

Estas últimas frases no habrían sido comprendidas en la época de Galileo y Newton. Nos hallamos ante una ciencia joven, cuya historia como tal nace aproximadamente al mismo tiempo que Benjamin Franklin, nuestro héroe titular. Pero antes veamos de qué clase era la explicación de un fenómeno como el relámpago.

La etapa precientífica

Una prehistoria de las concepciones de los fenómenos relacionados con la electricidad atmosférica, especialmente la que se manifiesta en tiempo tormentoso, sería tan prolija como divertida. Sin duda, para el hombre prehistórico, las manifestaciones eléctricas de la atmósfera se explicaban en función de sus creencias religiosas, como encarnaciones de mágicos y misteriosos poderes divinos que no dejaban de infundir respeto y miedo. Abriéndose de los efectos de tales poderes, el artista prehistórico deja constancia de sus impresiones en pinturas rupestres: relámpagos, piedras y hachas que descienden del cielo. Existe todo un simbolismo del relámpago, típico atributo de dioses, en muchas culturas antiguas. Los dioses cerámicos empuñan el tridente, con el cual horadaban la nube para dejar salir el relámpago y liberar la lluvia (Fig. 1). Pasando por alto los numerosos mitos ancianos de los hurritas, los sumerios, los egipcios o los hindúes, mencionemos sólo el caso de la China, donde el dios Lei-Tsu reinaba sobre los misterios del relámpago, asistido por el príncipe del trueno Lei-Kung y la reina de los rayos Tien-Mu. En cada mano tenía esta divinidad un espejo con el que emitía y dirigía la luz de los rayos. Los aztecas reconocían a Tlaloc como el dios de la lluvia y el relámpago.

El relámpago era la expresión de la cólera de los maestros de los dioses, Zeus para los griegos y Júpiter para los romanos. El poeta beocio Hesiodo, cuya cosmovisión tenía raíces religiosas, canta en su *Teogonía*, unos siete siglos antes de la era cristiana, el triunfo final de Zeus, padre de dioses y hombres, quien recibe de los hermanos de Cronos, en señal de agradecimiento por sus nobles acciones, “el trueno, el llameante rayo y el relámpago, que antes escondía la inmensa Gea, y apoyado en ellos gobierna sobre mortales e inmortales” (Hesiodo, 1986). Zeus, responsable del orden moral, empuña las armas clásicas: el trueno, el relámpago y el resplandeciente rayo. Dada la semejanza de los mitos hesiódicos con los fenicios, babilonios, hurritas e hititas, parece claro que Hesiodo recoge tradiciones antiquísimas comunes a todas estas culturas, y es común encontrar representaciones de dioses con tridentes



Figura 1. Dios hitita del tiempo atmosférico. Hacia 900 a.C. (Prinz, 1979).

Sin embargo, ya en la Grecia clásica asistimos a la lenta sustitución de las mitologías por explicaciones racionales. Un reflejo de esa transformación se encuentra en *Las nubes* (423 a.d.C) de Aristófanes. El pobre Estrepsíades, endeudado hasta la cresta, se inscribe a un curso relámpago sobre tergiversación, para poder burlar a sus deudores. Durante una lección, le pregunta al Sócrates aristofánico, que acababa de negar la existencia de Zeus, quién era entonces el que producía el trueno, ese trueno que lo hacía temblar. Sócrates responde que eran las nubes, que al rodar lo causaban, y ante el comentario del atónito discípulo, explica que las nubes, “cuando, llenas de mucha agua, se ven forzadas a moverse, tienden necesariamente hacia abajo, cargadas como están de lluvia; luego, precipitándose pesadamente las unas sobre las otras, revientan estrepitosamente”, produciendo ese estruendo a causa de su densidad. La explicación que el inquisitivo Estrepsíades recibe de Sócrates empieza así: “¿No te ha ocurrido nunca que, en las Panateneas, ahíto de salsa, hayas tenido turbaciones en el vientre y hayas oído allí a menudo ruidos prolongados?” Tras esta pregunta, el campesino aprendiz interpreta a su modo los borborismos producidos por la salsa y los consiguientes estruendos de tripas al aliviarse, y Sócrates, contento de la docilidad del alumno, aclara: “¡Piensa, pues, con un pequeño vientre minúsculo, qué pedorrera armas tú! ¿No será natural que el aire que hay por ahí, carente de límites, truene terriblemente?” El mecanismo del trueno nos arranca una carcajada, no menos que cuando corrige la explicación mitológica del rayo como castigo de los perjuros, explicando que cuando se eleva hacia las nubes un viento seco que se encierra en ellas, “las hincha por dentro como una vejiga” y luego las revienta con fuerza, escapando violentamente debido a la presión dentro de ellas, y con “violencia arrolladora se inflama él mismo”.

Aunque reconocemos en estos argumentos el deseo de prescindir de las acciones de los dioses en la explicación de los fenómenos naturales, vemos que se razona por analogía, un principio muy común en esos tiempos. Los presocráticos explicaron sus rayos y truenos partiendo de sendos principios generales, y lo que hoy hace parte de la electricidad atmosférica se encuadra en sus cosmovisiones, sin que se tenga noticia de un tratado dedicado específicamente a los fenómenos atmosféricos. Para una teoría coherente de los fenómenos en cuestión habría que esperar a Aristóteles, de quien se ha conservado entre tantas otras la obra conocida bajo el título de *Meteorológicos*. Sus explicaciones se basan en la teoría de las dos exhalaciones (**Aristóteles**, 1996): “Pues, al ser la exhalación de dos clases, como ya dijimos, una húmeda y otra seca, y al contener su combinación a ambas en potencia y condensarse en (forma de) nube, como se ha dicho antes, y al hacerse la condensación de nubes más densa hacia su límite extremo (...), entonces el calor desprendido se difunde hacia la región superior; pero toda aquella (parte de la) exhalación seca que queda atrapada en el proceso de enfriamiento del aire se desprende al condensarse las nubes y, desplazándose y chocando con violencia contra las nubes circundantes, produce un impacto, cuyo ruido se llama trueno. [...] El trueno, pues, es esto y se produce por esta causa; en cuanto al viento expulsado, arde la mayor parte de las veces en una combustión tenue y débil, y eso es lo que llamamos relámpago, (lo que ocurre) cuando el viento se ve como si cayera revestido de color. Se produce después del impacto y al final del trueno.” Aquí Aristóteles confunde el orden del trueno y relámpago, criticando a los filósofos anteriores que habían osado confiar en sus sentidos: “Algunos, sin embargo, dicen que en las nubes se genera fuego: dice Empédocles que éste es lo que queda atrapado (en las nubes) de los rayos del sol; Anaxágoras, del éter superior, al que él llama fuego descendido de arriba abajo. Así, pues, (consideran que) el relámpago es el resplandor, y el trueno, el ruido y el silbido de ese fuego al extinguirse, al igual que si se produjera tal como aparece y fuera el relámpago antes que el trueno.”

Los escritores posteriores que reproducían con pocas variaciones la teoría aristotélica, no representan ningún avance real excepto en relación a uno que otro detalle observado. Séneca se extiende sobre la cerauomancia etrusca y los augurios romanos, ofreciéndonos un catálogo de tipos de rayo, que poco tienen que ver con una clasificación científica. Retengamos solamente un pasaje que compararemos con lo que escribiría, siglos después, Descartes: “Además, dondequiera que ha caído el rayo, es seguro que hay olor a azufre que, por su naturaleza venenosa, enloquece muy a menudo a los que lo aspiran. [...] De la tierra y de todos los objetos terrestres se desprende una parte húmeda, una parte seca de naturaleza similar al humo. Esta última es alimento de los rayos, aquélla de las lluvias” (Séneca, traducción española de 1979). Autores clásicos como Cicerón, Virgilio, Horacio o Tito-Livio describieron con precisión escalofriante las manifestaciones de una tormenta eléctrica. César narra en sus famosos *Comentarios* que durante la guerra en África, tras una tempestad terrible que desbandó la armada romana, brillaron con luz espontánea las puntas de las jabalinas de la quinta legión. Reconocemos en esta descripción el fenómeno de electricidad atmosférica conocido bajo el nombre de fuego de San Telmo (Hermant & Lesage, 1997). En el primer siglo de nuestra era, Plinio el Viejo escribía, no sin sorna, que quien ve un rayo y oye el trueno que le sigue no es el hombre que ha sido golpeado.

Durante la Edad Media, bajo la dominación ideológica de la Iglesia, el hecho de ser víctima de los efectos del relámpago era considerado como un castigo. No se constata ningún progreso en el campo cuya historia nos ocupa. Los teólogos pretendían que los bailarines, los blasfemadores, los usureros y los fornicadores eran pecadores especialmente expuestos a los efectos de los relámpagos. Con el fin de conjurar los efectos peligrosos del relámpago, la Edad Media solía apelar a los santos, invocando a Santa Bárbara para sentirse resguardados de los efectos del relámpago. Bien se ha hecho en llamar santabárbaras a los pañoles de embarcaciones donde se guarda la pólvora y las municiones.

La electricidad prefrankliniana

Ya habíamos dicho que en Descartes se encuentran ecos de las explicaciones que recogiera Séneca, por ejemplo. Descartes también invoca exhalaciones inflamables, y su teoría no es menos graciosa que la de los antiguos autores greco-romanos. Aun sin conocer las obras de la Edad Media, el sólo hecho de que el padre del racionalismo moderno no propusiera una teoría mejor, en el espíritu de la revolución científica que él mismo ayudó a establecer, es prueba clara de que la meteorología o ciencia de la atmósfera aún distaba de ser una ciencia moderna en el atmósfera revolucionaria del setecientos.

Hasta el siglo XVII no se buscaba edificar una nueva teoría de los electrometeoros. Como la historia de la electricidad y del relámpago se unen a mediados del siglo XVIII, es preciso narrar sucintamente la historia del descubrimiento de la electricidad misma. Como fuentes principales para lo que sigue, remito a Prinz (1977), Hermant & Lesage (1997) y a la excelente síntesis de Solís & Sellés (2005).

El conocimiento de la propiedad del ámbar amarillo o succino (*elektron* en griego) de atraer a los cuerpos ligeros gracias a un “alma viva” que esa materia poseía se remonta al año de 585 antes de nuestra era. Fue Tales, el más viejo de los Siete Sabios de la Grecia, quien lo trajo del Egipto. El término “electricidad” es acuñado por William Gilbert (1544-1603), médico elisabetano entrenado en la filosofía aristotélica y autor de una obra importante, conocida bajo el título abreviado de *De Magnete*, de 1600, donde establece que la Tierra es asimilable a un imán. Pero había que esperar unas décadas más hasta que Otto von Guericke (1602-1684),

físico alemán y alcalde de Magdeburgo, generalice el fenómeno de atracción eléctrica por frotamiento con ciertos cuerpos (zafiro, rubí, amatista).

En 1709, el inglés Francis Hauksbee (h.1666-1713) inventa una máquina electrostática con un globo de vidrio y demuestra que al frotarla manifestaba efectos eléctricos más patentes que en el caso de la bola de azufre de Guericke. Usando cilindros concéntricos de vidrio, observaba que cuando acercaba su mano seca a la superficie del cilindro exterior se producían destellos de luz en el cilindro interior. En 1729, los experimentos de Stephan Gray (1666-1736) revelaban que es posible transportar la “virtud eléctrica” por hilos de seda, metales e incluso el cuerpo humano, descubriendo así la conductibilidad eléctrica. Gray propone dividir los cuerpos en dos grupos, los conductores y los aislantes. Charles-François de Cisternay Dufay (1698-1739) descubre en 1733 la existencia de dos electricidades: una “vitriosa” y una “resinosa”, la que se obtiene al frotar cuerpos transparentes, tales como el vidrio o el cristal, y la que proviene de los cuerpos resinosos como el ámbar. Unos y otros rechazan los cuerpos que han “contraído” una electricidad de la misma naturaleza que la suya y atraen aquellos cuya electricidad es de naturaleza opuesta. Tal es la curiosidad por todos esos fenómenos que se empieza a elaborar una teoría de la electricidad. En 1745, el canónigo alemán Jürgen von Kleist (h. 1700-1748) y el naturalista y físico experimental holandés Pieter van Musschenbroek (1692-1761), trabajando en Leiden, inventan o presentan lo que se dio en llamar la botella de Leiden, que permitía acumular y descargar una gran cantidad de “fuego eléctrico”, constituyendo el prototipo de un condensador eléctrico. Musschenbroek comunica en 1746 la novedad a Réaumur, corresponsal de la Academia de Ciencias de París, quien a su vez informa al abate Jean-Antoine Nollet (1700-1770), sucesor de Dufay y célebre físico experimental que encarna la ciencia joven de la electricidad durante la Ilustración. El abate, como Musschenbroek, se hace sacudir los brazos por la electricidad acumulada en la botella, y la capital de Francia acude a los experimentos con la botella de Leiden, en los que Nollet electriza cadenas de cartujos o de las guardias reales. Conmociones y hemorragias nasales, “beatificación” eléctrica y otros efectos espectaculares de la electricidad se prestan bien a la puesta en escena, y, por qué no, al milagro. Nollet electriza sin éxito los miembros de un paralítico. Pero en España, un portero de cámara, “de 65 años, hábito carnosos, mole, y flegmático”, que había sido atacado de un estupor de la mejilla izquierda, perdiendo todo movimiento, lo recobró después de tres electrificaciones de la parte afectada, y el enfermo recuperó su salud (**Vázquez y Morales**, 1747). La moda se difunde por toda la Vieja Europa y uno podía dejarse electrizar en Inglaterra, Holanda o Alemania. **Vázquez y Morales** (1747), traductor del *Essai sur l'électricité des corps*, publicado por Nollet en 1746, refleja el entusiasmo en su prólogo a la traducción (ortografía original): “El primor, y destreza en su execucion han hecho tan estupendos, y deliciosos los experimentos de la Electricidad, que no solo se ven en la Academia, sino que se admiran por todas partes, hasta haver llegado à ser espectáculo publico de la Corte. Los Grandes, y los Ministros observan, y executan estos experimentos, y yà hay muchos que tienen en sus Gavinetes la Màmquina de Rotacion, para adelantarlos por sî. No creo que ningun otro Phenomeno physico haya logrado tanto aplauso, tanta admiración.” Y media página más adelante se pregunta si “los efectos de la Electricidad han de quedar reducidos solamente à una maravilla physica, à una curiosidad de buen gusto, y de admiración? Los objetos de la Physica, que no comprenden nada menos, que el grande, y vasto campo de la Naturaleza, son objetos deliciosos para los Sabios, que cuando se suspenden solo en el acto de contemplar, hallan maravillosa Theologia en los Insectos, maravillosa Theologia en el Agua, y hallan sin duda maravillosa Theologia en la Electricidad de los Cuerpos; pero no obstante, estos mismos Observadores casi siempre dirigen otros pensamientos àzia los progressos, que pueden resultar à otras Ciencias, y también àzia la utilidad de los Hombres.”

Europa vive la fiebre de la electrificación en público y en los gabinetes de los físicos experimentadores. Mas es del otro lado del Atlántico que llegaría la novedad.

Franklin sube al escenario, cometa en mano

A fines de 1746 Franklin recibe de su amigo Peter Collinson material de física para reproducir los experimentos eléctricos que tanto revoloteo estaban causando en Europa. Benjamin Franklin fue un personaje atípico: a la vez diplomático, político y hombre de ciencia. Recordemos muy brevemente su trayectoria. Llega al mundo en Boston, la ciudad natal de Edgar A. Poe, el 6 de junio de 1706, y muere en Filadelfia en 1790, levantando un cortejo fúnebre de 20.000 personas, más aclamado que un Newton o Voltaire. En 1718 fue aprendiz en la casa impresora de su hermano James, y diez años más tarde se instala en Filadelfia y lanza su propia *Pennsylvania Gazette*. Publica en 1732 su almanaque *El pobre Ricardo*, cuyo prodigioso tiraje es prueba de la sed de conocimiento de un público sin acceso a muchos libros de la época. En 1748 se retira de sus actividades públicas, dos años después de haber comenzado a entusiasmarse por la electricidad. Nunca dejó de interesarse por la política, y su papel durante la guerra de la independencia de las colonias inglesas es conocido de sobra.

El autodidacta escribía aquél mismo año a su amigo Collinson: “Jamás me he comprometido con un estudio que haya acaparado mi atención y mi tiempo con tal exclusividad. Hago experimentos cuando estoy solo, los repito ante mis amigos y conocidos que vienen continuamente en masa por la novedad de la cosa, tanto así que no he tenido el ocio de ocuparme de otra cosa durante los meses que acaban de transcurrir”. A partir de julio de 1747, ciertos experimentos revelaban propiedades interesantes sobre la electricidad y Franklin concibe la electricidad como un fluido único, que hoy identificamos con el mero desplazamiento de los electrones. A los términos de electricidad “vitriosa” y “resinosa” sustituye los de electricidad “positiva” y “negativa”; y se percata en ese entonces del “efecto maravilloso de los cuerpos puntiagudos, tanto para atraer como para rechazar el fuego eléctrico”. De acuerdo con la teoría de Franklin, sólo existía un único fluido eléctrico, y los cuerpos presentaban propiedades eléctricas cuando contenían más o menos fluido (“fuego”) eléctrico del normal; por lo tanto, se comprende que denominara a los dos tipos de electricidad como «positiva» o «más» y «negativa» o «menos». El fluido eléctrico de Franklin constaba de partículas muy sutiles, las cuales se repelían entre sí, siendo atraídas por los de la materia ordinaria. El estado neutro de un cuerpo se podía explicar como un estado de saturación con fluido eléctrico; si se le añade más, cargándolo positivamente, el fluido forma una atmósfera que rodea su superficie. Cuando las atmósferas de los cuerpos cargados positivamente entran en contacto, se repelen (si bien nunca dejó claro por qué deben repelerse en lugar de mezclarse), pero no encontró explicación para la repulsión entre cuerpos cargados negativamente, en donde no aparecen por ningún lado las atmósferas eléctricas (Solís & Sellés, 2005).

Las ideas de Franklin fueron comunicadas a la Royal Society, y en un primer momento no hallaron cabida en las *Philosophical Transactions*, una de las revistas más antiguas y prestigiosas de la época. Fueron entonces publicadas en Londres con el título de *Experiments and Observations on Electricity*, en 1751, reeditándose y traduciendo posteriormente a varios idiomas. Disfrutaron de una gran difusión, a lo que sin duda ayudó su invención del pararrayos.

Es justo recordar además un hecho ignorado por los historiadores de la meteorología. Franklin propugnó en 1756 (aunque apenas se publicara en 1765 en dicha revista) la teoría de los

alios que había sido expuesta por Hadley en 1735 e Immanuel Kant en 1756, teorías que no atrajeron gran atención durante la Ilustración (Pelkowski, 2006). De sus otras contribuciones a la meteorología cabe mencionar su teoría de la lluvia, en la que la electricidad desempeñaba un papel primordial.

Después de haber realizado muchos descubrimientos eléctricos, especialmente con la botella de Leiden y sobre el poder de las puntas, Franklin tuvo la atrevida idea de ir a buscar la electricidad al mismo seno de las nubes; algunos experimentos decisivos le habían sugerido que con una barra de metal puntiaguda, apuntando hacia el cielo, se podría extraer electricidad de las nubes tempestuosas. Pensó que así podía despojar a las nubes de sus rayos, sobre cuya naturaleza eléctrica ya se había especulado. Franklin no era el primero en suponer la similitud entre el relámpago y la electricidad, pero el primero en idear un experimento para probar que la nube tormentosa es de naturaleza eléctrica. Dirige una carta a Collinson que éste hace publicar en mayo de 1750 en el *Gentleman's Magazine*, donde sugiere su idea del pararrayos, con el cual “el fuego eléctrico sería, creo, atraído silenciosamente de la nube, y no tendría tiempo de golpear; se vería solamente una luz en la punta, igual que los fuegos de San Telmo marinos...”. Pero no menciona allí ninguna comunicación con el suelo. En otra carta del mismo año a Collinson, que data de julio 29, escribía (Hellmann, 1898): “Para decidir la cuestión de si las nubes que relampaguean están electrizadas o no, quiero proponer un experimento, a realizar en un lugar conveniente. En la cima de una alta torre o un campanario, emplazar una especie de garita suficientemente grande para que pueda albergar un hombre y un taburete eléctrico: de en medio del taburete se eleva una vara de hierro que ha de pasar, doblada, hacia afuera por la puerta, elevándose de ahí perpendicularmente en altura hasta unos veinte o treinta pies, terminando en una punta muy aguda. Si se mantiene el taburete eléctrico limpio y seco, un hombre que se encuentre parado sobre él en el momento en que pasen nubes electrizadas por encima de él a baja altura, puede llegar a electrizarse, arrojando las chispas del fuego de la nube que la vara de hierro transporta hasta él. Si pudiese temerse algún peligro para el hombre (aunque creo que sea necesario), que se pare sobre el piso de la garita y acerque a la vara de vez en cuando el cabo de un alambre torcido en forma de hebilla, asiéndolo por una manga de cera, y conectado por el otro cabo a un cuerpo conductor, de manera que las chispas, si la vara está electrificada, salten de ésta al hilo sin tocar al hombre.” El “taburete eléctrico” desempeña la función de aislante.

Franklin pensó entonces esperar el término de la construcción de un campanario que a la sazón se erigía en Filadelfia; pero, cansado de aguardar y deseoso de hacer una prueba para disipar cualquier duda, recurrió expedito a otro medio. Como se trataba tan sólo de dirigir un cuerpo a la “morada” del rayo, es decir, a la altura de la base de las nubes, Franklin pensó que una cometa podía servirle en lugar de un campanario o una torre. Con dos palitos, un pañuelo de seda y una cuerda larga, armó una cometa y salió al campo a hacer la prueba. Iba acompañado de su hijo de veintiún años, sin más testigos, para evitar el ridículo, compañero inseparable de toda tentativa científica frustrada, según lo confiesa él mismo ingenuamente. La cometa en el aire, una nube prometidora, ningún efecto. Pasaban nubes, bienvenidas con creciente desasosiego. Pero la naturaleza seguía muda, no resplandecía la chispa anhelada y no se percibía señal eléctrica alguna, hasta que por último empezaron a levantarse algunos filamentos de la cuerda, dejándose oír un leve crepitar: alentado, Franklin puso el dedo en el extremo de la cuerda, y vio aparecer al momento una chispa intensa a la que siguieron otras muchas. Entonces cree Franklin que por vez primera había “podido bajar la electricidad del cielo”.

El experimento de Franklin tuvo lugar en junio de 1752, y en poco tiempo se repitió en todos los países ilustrados, obteniendo por doquiera el mismo éxito. El pararrayos abrió la vía a la

ciencia de la electricidad; es el reflejo de la primera victoria del genio humano contra el poder devastador de las fuerzas de la naturaleza (**Hermant & Lesage**, 1997). Como toda novedad, la invención de Franklin dividió al público entre patrocinadores y adversarios. Las gentes eclesiásticas tomaban el pararrayos por “una manga herética que atraía los relámpagos de Dios”, idea que encontró suficientes émulos para que la polémica se instalara firmemente alrededor de la verdadera utilidad del nuevo dispositivo. Franklin se expresaba en 1753 más humildemente: “Plujo a Dios, en su gran bondad hacia la humanidad, permitir que los hombres descubrieran el medio de proteger sus moradas contra los perjuicios del trueno y el rayo.” Muchos años más tarde, la protección que su pararrayos ofrecía a su propia casa, le permitía ironizar: “Con el tiempo, la invención ha sido de alguna utilidad para el inventor.”

Sin embargo, y pese a lo que se lee en algunas narraciones sobre la célebre hazaña de Franklin, éste no fue el primero en “bajar la electricidad del cielo”. Los ingleses habían sido los primeros en recibir noticias (en 1750) del experimento propuesto por Franklin, y el conde Buffon en Francia, administrador de los jardines reales, se enteró del mismo a través de una mala traducción, que lo incitó a solicitar de su amigo Thomas-François Dalibard (1703-1779), buen conocedor del inglés, una mejor. Buffon y Dalibard decidieron ejecutar el gran experimento de Franklin cerca de París, en el pueblo Marly-la-Ville, erigiendo un alto mástil de hierro, de una pulgada de espesor y cuarenta pies de longitud, provisto de una punta de cobre. Hicieron un taburete que consistía en una mesa de madera, en la que cuatro botellas de vino sostenían una tabla cuadrada sobre la que se apoyaba la vara de hierro (ver figura 2). El 10 de mayo de 1752, al anunciarse una tormenta, un dragón francés, retirado, impávidamente obedeciendo las instrucciones de Dalibard, efectivamente extrajo chispas de aquella vara de hierro, aislada del suelo mediante las botellas de vino. Los resultados de este experimento procuraron la primera prueba directa de la naturaleza eléctrica de las tormentas hoy calificadas de eléctricas. El experimento de Marly fue reproducido en muchos países (Italia, Alemania, Rusia, Holanda, Inglaterra, Suecia, y nuevamente Francia). Franklin no se había enterado todavía de este experimento cuando lanzó su legendaria cometa al aire. No sólo se usaron varas y cometas, como en los dos experimentos anteriores, sino globos, morteros y cohetes, con el fin de extender las cuerdas conductoras hasta el campo eléctrico de la nube (**Prinz**, 1979). En 1753, antes de que recibiera noticia de los resultados de Franklin, un magistrado francés llamado de Romas, obtuvo señales eléctricas muy enérgicas, por haber tenido la feliz idea de poner un alambre delgado a lo largo de toda la cuerda, que medía 260 metros. Más tarde, en 1757, de Romas repitió de nuevo la prueba durante una tormenta, y en aquella ocasión obtuvo chispas de un tamaño sorprendente. «Figuraos ver, dice, llamaradas de nueve o diez pies de longitud y una pulgada de grueso, que hagan tanto ó más ruido que un pistoletazo. En menos de una hora obtuve sin la menor duda treinta llamaradas de dicha dimensión, sin contar otras mil de siete pies y menos» (**Flammarion**, 1902). En todos estos experimentos, la barra metálica y la cuerda conductora eran polarizadas por el campo eléctrico de la nube, de tal manera que las cargas de polaridades opuestas se acumulaban en los extremos opuestos del conductor. Al disminuir la distancia entre el extremo inferior y el suelo, entre ambos se originaba una descarga en forma de chispa. La escala y el efecto de esta descarga en chispa es, claro está, varios órdenes de magnitud menor que en un relámpago. Franklin, al diseñar sus experimentos, no tuvo en cuenta la posibilidad de un golpe directo del rayo en la vara o la cometa. Tuvo mucha suerte, como tantos otros que arriesgaron sus vidas. Arriesgados, sí, pues si hubiese relampagueado, cualquier rayo que cayera sobre la vara, los hubiera fulminado. Franklin había preconizado que el hombre se parara sobre el taburete, sin contacto directo con el suelo. La vara de hierro utilizada no era un pararrayos, solo un medio de capturar cargas eléctricas que nacían en su punta y que, al no poder correr hacia el suelo, lo hacían a través del cuerpo del manipulador. Estos ensayos no dejaban de ser peligrosos, como fácilmente se puede comprender hoy en día. De Romas fue derribado una vez por una descarga

demasiado fuerte, aunque no recibió ninguna herida de gravedad. Menos afortunado fue el entonces famoso científico Georg Wilhelm Richmann (1711-1753), miembro de la Academia de Ciencias de San Petersburgo, que perdió la vida haciendo una de sus pruebas. Había hecho pasar desde el tejado de su casa hasta su gabinete una barra de hierro aislada que conducía la electricidad atmosférica y cuya intensidad medía diariamente. El 6 de agosto de 1753, en medio de una desmelenada tempestad, se mantenía a cierta distancia de la barra para evitar las fuertes chispas y esperaba el momento de medirlas, cuando entró inoportunamente su asistente, y Richmann, al dar algunos pasos hacia él se acercó demasiado al conductor, y justamente un globo de fuego azulado, del tamaño de un puño, se descargó en su frente, dejándolo instantáneamente muerto (Fig. 3).

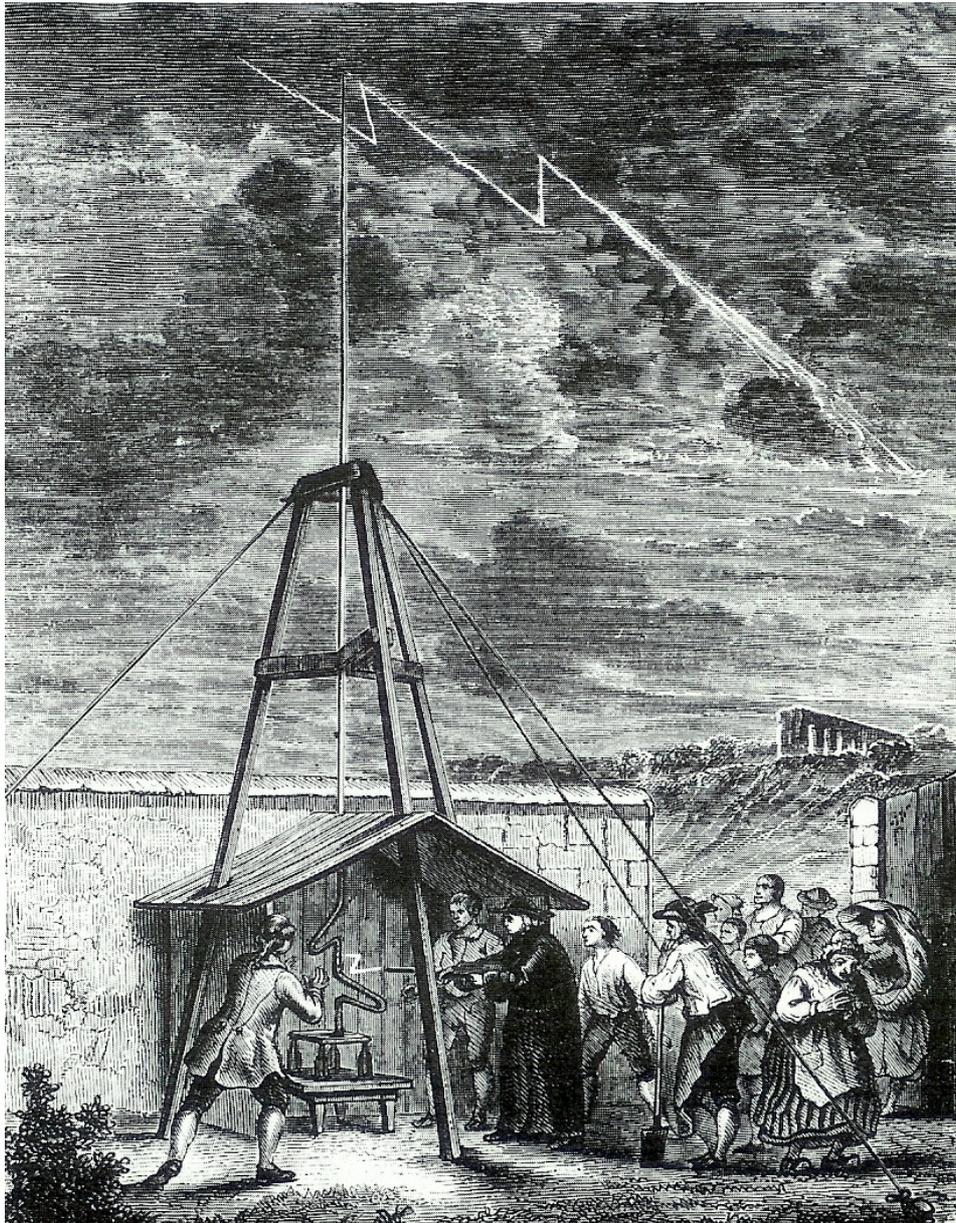


Figura 2. El dragón jubilado, Coiffier, y el no menos impávido párroco rural, Raullet, rodeados de aldeanos, extraen del cielo chispas, demostrando por primera vez la naturaleza eléctrica del rayo: “La idea de Franklin deja de ser una hipótesis para convertirse en realidad”.



Figura 3. Se supone que un rayo cayó directamente sobre la vara aislada, y descargándose en un rayo en bola, golpeó fatalmente al célebre Richmann y quemó la ropa del grabador en cobre que lo asistía, Sokolov. (Tomado de Prinz, 1979.)

Franklin también demostró que los resplandores del relámpago se originan en las nubes que se encuentran “más comúnmente en un estado negativo de electricidad, pero a veces en un estado positivo”. Originalmente pensó que el pararrayos descargaría sigilosamente a una nube tormentosa, impidiendo el inicio del relámpago. Más tarde, enunció que el pararrayos tenía una doble función: si no podía prevenir la formación de un rayo, ofrecía un punto preferido de contacto al rayo y luego un sendero seguro para la corriente del rayo hacia el suelo. Es de esta manera que funcionan las “barras de Franklin”, como aparentemente ya lo había sugerido el padre de la ciencia rusa, Mijail Lomonosov (1711-1765), en 1753 (véase **Rakov & Uman**, 2003).

La teoría de Franklin ofrecía una buena explicación de muchos fenómenos eléctricos, así como del funcionamiento de la botella de Leiden; además, acomodaba sencillamente los resultados que Dufay había obtenido sobre la existencia de dos modos de electrización, resultados que habían quedado oscurecidos al no ser aceptados por Nollet. Presentaba, sin embargo, dificultades importantes. Franklin suponía que se formaban atmósferas en torno de los cuerpos que tenían un exceso de materia eléctrica, las cuales lo rodeaban de modo semejante a como la atmósfera terrestre lo hace con nuestro planeta. En estrecha analogía con el aire atmosférico, la repulsión entre las partículas del fuego eléctrico era responsable de la

elasticidad del fluido eléctrico, mientras que su afinidad por las partículas de la materia ordinaria se suponía operar de forma semejante a la atracción de la gravedad, impidiendo así su disipación. Las atracciones y repulsiones a nivel macroscópico se explicaban, insuficientemente, por la interacción de estas atmósferas, mediante mecanismos no explicitados, pero que en principio derivaban de la interacción de sus partículas componentes (Solís & Sellés, 2005).

Con la teoría de Franklin, la atención se centraba ahora en las cuestiones relativas a la carga y descarga eléctricas de los cuerpos, más patentes gracias al desarrollo de las máquinas eléctricas y al consiguiente logro de grados de electrización mucho mayores de lo que habían sido posibles a principio de siglo. Y esto permitió una formulación clara del concepto de *carga* eléctrica como la *cantidad* de una sustancia específica que podía hallarse en exceso o en defecto en los cuerpos, causando su electrización (Solís & Sellés, 2005). Tal noción no era posible en las teorías de efluvios, en boga en el siglo precedente, donde los fenómenos eléctricos se suponían producidos por un estado de excitación. La introducción de la carga eléctrica suponía, así, la de una magnitud que en principio podía ser cuantificada en función de sus efectos.

Franklinistas

Los seguidores de Franklin tuvieron que afrontar las dificultades que planteaba su teoría y al hacerlo transformaron la interpretación básicamente estática de Franklin de la atracción y repulsión en otra dinámica, más emparentada con la mecánica de fluidos. En dicha interpretación estos fenómenos, al igual que se hacía con los procesos de carga y descarga, se explicaban por la transferencia de fluido eléctrico entre los cuerpos involucrados. Dada su elasticidad, este fluido pasaría de aquellos cuerpos donde su densidad fuese mayor a aquellos otros en donde fuese menor. En Francia, Jean-Baptiste Le Roy (1720-1800) se opuso a finales de 1753 a la teoría del influyente Nollet, hablando de la existencia de una electricidad rarificada, cualitativamente distinta de aquella más comprimida que daba cuenta de las cargas positivas. Ese mismo año, Giambattista Beccaria (1716-1781), profesor de física experimental en la Universidad de Turín, publicó allí una obra titulada *Dell' elettricismo artificiale e naturale libri due*, que se difundió bastante en las dos décadas siguientes, en la que pretendía realizar una exposición general y sistemática de las ideas de Franklin. En ella expuso un principio general -erróneo- según el cual los signos de la electricidad se debían exclusivamente al tránsito de fluido eléctrico entre dos cuerpos desigualmente electrizados, dependiendo la intensidad de su interacción de la cantidad de fluido transmitida. En este caso, todas las fuerzas consideradas eran de atracción; se suponía que los fenómenos de repulsión solo se daban entre cuerpos con electricidad del mismo signo que estuviesen igualmente cargados. Que la descarga de fluido se iniciase nada más se electrizaba el cuerpo o que el fluido eléctrico permaneciese en torno al cuerpo cargado hasta que a este se acercase un conductor, era cuestión opinable (Solís & Sellés, 2005).

Las cosas cobraron un nuevo sesgo con las aportaciones que realizaron los franklinistas alemanes Johan Carl Wilcke (1732-1796), traductor de la obra citada de Franklin al alemán, y el subestimado físico matemático Franz Ulrich Theodor Aepinus (1724-1802), quienes colaboraron en diversos experimentos eléctricos cuando eran comensales del gran Leonhard Euler (1707-1783), en Berlín, junto con el primogénito de éste, Johann Albrecht Euler (1734-1800), quien había intentado aplicar a la electricidad la teoría hidrodinámica que su papá acababa de desarrollar para los fluidos materiales, en un trabajo premiado por la Academia de San Petersburgo en 1755.

Lo que los esfuerzos de Aepinus, impulsado por el “maravilloso” comportamiento de la turmalina polarizable por el calor, pusieron de manifiesto es que las atmósferas eléctricas, constituidas por el mismo fluido, no podían explicar a la vez las transferencias producidas en la carga y la descarga, ni las atracciones y repulsiones: los fenómenos de inducción se producían allí donde el fluido no estaba presente, sin que interviniese ningún movimiento de éste, o sea, en términos actuales, entre la carga y el campo eléctrico que ésta origina (Solís & Sellés, 2005). Habiéndose trasladado a la Academia en la capital de los zares, Aepinus publica allí en 1759 su *Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi*, que marca un hito importante en la historia de las teorías eléctricas, y donde sienta la teoría de Franklin sobre una base coherente y rigurosa que le permitió explicar una amplia gama de resultados experimentales (Home, 1979; Solís & Sellés, 2005). Aepinus rechaza las atmósferas, admitiendo que las fuerzas eléctricas se debían a la misma presencia de fluido eléctrico. Se trataba de descubrir, sin más metafísica, las fuerzas a distancia involucradas en los fenómenos eléctricos, para poderlas someter a un análisis matemático según el modelo admirado de la teoría de la gravitación de Newton, con quien la naturaleza fue generosa al dotarlo de una vigorosa mente –según palabras de Aepinus en la dedicatoria al conde Rasumowski. Aepinus no disponía de una ley concreta para la descripción de tales fuerzas, de modo que no pudo llevar a cabo un programa calcado en los *Principia* del gran dechado. Pero suponiendo que las fuerzas eran proporcionales a las cantidades de fluido y materia presentes, y que decrecían con la distancia según una función indeterminada, estudió los efectos que se podían presentar en algunas configuraciones sencillas. Una novedad radical que introdujo en su teoría fue la existencia de fuerzas repulsivas entre las partículas de la materia ordinaria, las cuales explicaban la repulsión entre cuerpos cargados negativamente (Solís & Sellés, 2005).

Aepinus abrió las puertas a la cuantificación de la electricidad, introduciendo ciertos cálculos analíticos, cortos y simples, en una disciplina tradicionalmente empírica y cualitativa, “obligado en parte por la naturaleza del tema y en parte para escapar...la prolijidad del lenguaje habitual” (Aepinus, 1979). Pero su matematización no pudo ser sino parcial, al no disponer de la ley de la atenuación de las fuerzas eléctricas con la distancia, impidiéndole extraer resultados cuantitativos de sus ecuaciones.

Menciono de paso que Aepinus contribuyó a la climatología con una temprana obra sobre la insolación terrestre, publicada en 1761 en San Petersburgo bajo el título de *Cogitationes de distributione caloris per tellurem*, posterior a la que Euler escribiera sobre el tema en 1739 en el mismo lugar, pero anterior a la importante *Pyrometrie* de Lambert, publicada póstumamente en 1779 (Pelkowski, 2006).

En Gran Bretaña, Aepinus halló un continuador (independiente) de su obra en Henry Cavendish (1731-1810). Este publicó en 1771, en las *Philosophical Transactions*, una larga memoria que partía de los mismos principios adoptados por Aepinus, en el que se vale del análisis matemático, considerando las acciones eléctricas ejercidas a distancia entre los cuerpos como la resultante de las atracciones de elementos infinitesimales de fluido eléctrico (Solís & Sellés, 2005). En 1767, otro británico, Joseph Priestley (1733-1804), codescubridor del oxígeno, había conjeturado una disminución de la fuerza eléctrica con el cuadrado de la distancia. Cavendish retomó la idea y comprobó experimentalmente la analogía con la ley de Newton, pero no publicó su trabajo, con lo que el mérito de la determinación de la ley de la fuerza eléctrica le corresponde justamente al ingeniero francés Charles-Augustin Coulomb (1736-1806).

Coulomb empleó para su propósito un instrumento de gran sensibilidad, la balanza de torsión. El famoso experimento de Coulomb, y en general sus trabajos electrostáticos, estaban fuertemente influidos por los métodos de la mecánica racional y el modelo de la ley de gravedad universal. Así, asumió que la fuerza eléctrica entre dos esferas cargadas era directamente proporcional a sus densidades de fluido eléctrico, y que dicha fuerza resultaba de la ejercida entre dos moléculas de dicho fluido. Aunque adoptó la teoría dualista de los dos fluidos por parecerle contradictorio que la materia estuviese dotada a la vez de las fuerzas atractivas de la gravitación y de las repulsivas introducidas por Aepinus, no dejó de señalar que ambas teorías respondían igualmente bien a la experiencia y que, en todo caso, su carácter era hipotético (Solís & Sellés, 2005). En la teoría de la luz y el calor, podemos agregar, abundaban las hipótesis moleculares, y las teorías francesas terminaron caracterizándose por la investigación analítica de la interacción de las moléculas del hipotético calórico, radiante o no.

Las investigaciones eléctricas del siglo XVIII se cerrarían con un último descubrimiento, en un primer momento sin explicación, cuyas repercusiones se darían ya en la física del siglo siguiente. Se trata de la generación de electricidad por contacto. A partir de 1791, el anatomista boloñés Luigi Galvani (1737 -1798) desarrolla su famosa pila, que se comportaba como una botella de Leiden muy débil, pero que no necesitaba ser cargada desde fuera, produciendo una corriente continua cuando sus extremos se conectaban a un circuito (Solís & Sellés, 2005)

Los descubrimientos natalicios de la electricidad atmosférica

El estudio de la electricidad atmosférica apenas cumple 250 años. Su punto de partida es la analogía entre la chispa y la electricidad de una tormenta, que desde el principio del siglo XVIII había propiciado conjeturas sobre la naturaleza eléctrica del rayo. Las primeras conjeturas fueron emitidas por los ingleses Hauksbee, Wall y Gray, el primero y el tercero de los cuales ya hemos mencionado por sus importantes trabajos en el campo de la electricidad. Con más claridad se pronunciaron al respecto John Freke en Londres, Nollet en París, Winkler en Leipzig, y también Barberet, en una memoria premiada por la Academia de Bordeaux en 1750 (Hellmann, 1898).

En 1708, el eclesiástico inglés William Wall declaraba que los destellos producidos por esa máquina con la que se había logrado producir electricidad estática “representarían un cierto grado del rayo y del trueno”. Se le atribuye el haber sido el primero en pensar en la analogía entre el rayo y la chispa eléctrica (Hermant & Lesage, 1997). Wall hipotetiza que utilizando un pedazo más grande de ámbar debería de ser posible escuchar una crepitación y ver un brillo comparables al fenómeno atmosférico. Excitando la electricidad en un gran cilindro de ámbar, percibió entonces una chispa muy viva y un ruido sonoro, y, hecho notable, comparó en el acto a aquella primera chispa producida por la mano del hombre con los fulgores del rayo: «Esta luz y este chasquido representan en cierto modo el trueno y el relámpago», escribe Wall. La analogía era sorprendente, pero con un poco de buena voluntad se podía comprender así. Sin embargo, para demostrar su realidad, para adivinar en un fenómeno tan pequeño las causas y las leyes del fenómeno más grande de la naturaleza, se requería una serie de pruebas que solamente podía emprender un genio superior (Flammarion, 1902). No faltaron los físicos que buscaban estas pruebas por medio de analogías más o menos ingeniosas; unos observaban que la chispa es ganchuda como el relámpago; otros pensaban que el rayo es en manos de la naturaleza lo que la electricidad en las nuestras (Flammarion, 1902).

Stephen Gray en Londres, que había fallecido en 1736, concluía de sus importantes experimentos sobre electricidad y su conductibilidad, que el fuego eléctrico debía de ser de la misma naturaleza que el de un rayo tronante, y por consiguiente se impone la tarea de “aumentar la fuerza de este fuego eléctrico, el cual, según muchos de estos experimentos parece ser de la misma naturaleza que el trueno y relámpago.”

En 1746, esta vez en Leipzig, el filólogo clásico Johann Heinrich Winkler (1703-1770) se dedica al estudio de los fenómenos eléctricos y declara que “las chispas eléctricas que el arte produce son de la misma naturaleza que la materia, la esencia y la producción de los rayos y truenos, siendo su diferencia solo gradual.” (Véase **Hellmann**, 1898). Citemos en traducción algunos pasajes de un capítulo titulado “Son sonido y chispa de la electricidad magnificada una especie de trueno y rayo?” (Winkler, 1746, reproducido en **Hellmann**, 1898): “Lo que el oído y el ojo perciben en las chispas eléctricas, cuando se intensifican mediante la cantidad del agua en recipientes de vidrio, lleva fácilmente a la razón a investigar que si el chasquido y la chispa no podrían ser una especie de rayo y trueno?”

Por cierto, trueno y rayo, si son generados en la atmósfera, tienen un efecto miles de veces más intenso que las chispas entre cuerpos electrizados y no electrizados. Mas de ahí no se colige que las materias, de las que se generan los truenos y rayos, se distinguen de la materia de las chispas eléctricas; y que el trueno y el relámpago sean causados de otra manera que la chispa eléctrica. [...] Lo que notamos al ver y oír el rayo y el trueno se puede apreciar precisamente en las chispas eléctricas. Tan rápido como un rayo atraviesa el aire, regresan las partes de la chispa eléctrica a sus cuerpos. Ambos se perciben con igual claridad y pureza. Y si mil chispas eléctricas llegaran, cada una propagándose por un espacio de cien pasos, a golpear al mismo tiempo, se comprendería entonces que un trueno es sólo más intenso por cuanto en un rayo el número de aquellas partes que producen un sonido es mayor que en una chispa eléctrica.

Los rayos del relámpago atraviesan el aire serpenteando. Con la chispa eléctrica ocurre un tanto, si entre el cuerpo eléctrico y el no electrizado se encuentra una materia como pedernal y lacre, en los que no se pueden excitar tales chispas. Ahora, si solo se efectúa la electrización de manera ordinaria, entonces los rayos que aparecen en el borde y en la superficie de un pocillo de café de porcelana, al acercar un metal no electrizado al borde humedecido, ostentan bastante semejanza con los rayos en que se ramifica un rayo en el aire.”

En 1748, Nollet establece una lista de semejanzas entre el rayo y la chispa eléctrica. Igualmente, Jean Théophile Desaguliers (1683-1744) en Inglaterra y Johann Heinrich en Alemania cotejan ambos fenómenos. A finales de 1749, Franklin apunta que el fluido eléctrico concuerda con el relámpago en los siguientes puntos: 1) producción de la luz; 2) color de la luz; 3) dirección con que se desvía de una línea recta; 4) movimiento rápido; 5) conductibilidad por los metales; 6) crujidos o ruidos al reventar; 7) persistencia en el agua o hielo; 8) desgarramiento de los cuerpos atravesados; 9) destrucción de los animales; 10) fusión de metales; 11) combustión de las sustancias inflamables; 12) olor de azufre. (**Hermant & Lesage**, 1997.)

Bastan estos ejemplos para convencernos de que la analogía con los fenómenos de las tormentas eléctricas parecía imponerse a los experimentadores en medio de sus chispas y zumbidos. Sólo hacía falta la demostración experimental de que entre ambos fenómenos sólo existía una diferencia gradual. Como ya vimos más atrás, tal experimento fue propuesto por Franklin y realizado por vez primera bajo la dirección del naturalista francés Dalibard, en mayo de 1752. La analogía había quedado establecida.

En ese mismo año, el médico del rey Luis XVI y profesor de botánica, Louis Guillaume Lemonnier (Le Monnier, 1717-1799), realiza y publica su descubrimiento de que el aire “de tiempo bueno” se encuentra electrizado. Cassini de Thury había observado, según las actas de la Academia de Ciencias francesa del mismo año, que una barra de hierro sobre el Observatorio de París había dado indicaciones de electricidad, aún sin tormenta o nubes tormentosas en el cielo. Pero la convicción de que eran precisas las nubes para la comunicación de la electricidad, estaba tan arraigada que se supuso que tenía que haber, hacia el horizonte o por debajo de él, nubes que impartían de algún modo suficiente electricidad al aire para electrizar la barra. Las observaciones más detalladas de Lemonnier confirmaron estas observaciones de los astrónomos parisinos (**Hellmann**, 1898). Con este descubrimiento capital se sentaron las bases de la ciencia de la electricidad atmosférica.

Démosle la palabra al mismo Lemonnier, cuyas *Observations sur l'Électricité de l'Air* se publicarían en las Memorias de la Academia para el año de 1752 (**Hellmann**, 1989): “Como parecía seguirse de estas observaciones que la materia eléctrica está esparcida en el aire, siendo más aparente en tiempo seco que cuando el aire está húmedo, y que además esta electricidad natural se asemeja en todo a la que excitamos con nuestras máquinas, he pensado que podríamos considerar el aire como un almacén de electricidad, la cual podemos excitar en cualquier momento en nuestros globos y tubos de vidrio, y, en general, en todos los cuerpos eléctricos calentados y frotados. No ignoro que esta idea es absolutamente contraria a la de algunos físicos, en particular la del Sr. Watson, quien asegura, de acuerdo con un experimento muy positivo que hizo a este propósito, que la materia eléctrica sale de la tierra y asciende hasta el globo de vidrio por los pies de la máquina a medida que se frota el globo”. Agrega que aislando al experimentador y su máquina del suelo “siempre he excitado mucha electricidad, que no podía provenir sino del aire...”

El médico londinense y naturalista William Watson (1715-1787) al que alude Lemonnier, comprobó que la electricidad de la máquina de fricción disminuía cuando se aislaba al operador y al instrumento. En una memoria leída a la Royal Society de Londres en 1746 proponía la existencia de un «éter eléctrico», sutil y elástico, que era transferido en la carga y descarga de una botella de Leiden (**Solís & Sellés**, 2005). Watson se inclinaba a identificar este éter con el fuego elemental del químico holandés Hermann Boerhaave (1668-1738), preconizando la teoría de un solo fluido eléctrico. Al igual que este fuego, permeaba los cuerpos y tendía a equilibrarse entre ellos, siendo este flujo equilibrador el responsable de las fuerzas de atracción y repulsión. La actuación de las máquinas eléctricas sería así similar a la de una «bomba» extractora de electricidad; de este modo, la electricidad del globo de vidrio de la máquina no llegaría de éste, sino del cuerpo que lo frota, conectado en última instancia con el suelo (**Solís & Sellés**, 2005). Lemonnier, en cambio, señala una nueva fuente de electricidad, situada en pleno seno del aire.

Lemonnier sospechó además que en tiempo despejado tenía lugar una variación de los efectos eléctricos con la hora del día, pero algunos de sus resultados se debían a un mal aislamiento de sus aparatos en la noche. Fue el italiano Beccaria quien confirmó la existencia de una variación diaria, basándose en sus meticulosas observaciones con un alambre estirado, por espacio de 20 años. Mencionemos también que Beccaria fue el primero en aplicar, a la electricidad atmosférica, la concepción entonces recientemente propuesta de los dos signos de electricidad. Constató que su alambre recibía una carga positiva en buen tiempo, mientras que durante las tormentas eléctricas la carga era ora positiva, ora negativa.

Completando este relato con unos pocos nombres célebres, señalemos primero que John Canton (1718-1772) se cuenta entre quienes descubrieron, independientemente de otros

contemporáneos, que las nubes podían electrizarse tanto positiva como negativamente. De los importantes progresos en meteorología, asociados con el nombre de Horace Benedict de Saussure (1740-1799), sólo menciono sus nuevos métodos de medición, menos crudos, su construcción de un electrómetro más sensitivo, y su descubrimiento de que hay una variación anual en la magnitud de los efectos eléctricos en tiempo bueno, más grande en invierno que en verano.

En tiempos de Saussure se consideraba que el fenómeno de la electricidad atmosférica podía explicarse suponiendo que el aire estaba cargado positivamente. De ahí resultaba la necesidad de sugerir un origen de la carga positiva, y en 1782 Alessandro Volta (1745-1827) propone la teoría según la cual los efectos eran causados por una separación de cargas en la conversión del agua en su vapor. Volta creía que al igual que era necesario suministrar calor latente durante la transformación del agua en vapor, se requería una cierta cantidad de electricidad positiva, lo cual dejaba cargada negativamente a la superficie (aparentemente el primero en reconocer el hecho), transfiriendo una carga positiva al aire (**Chalmers**, 1967). Una teoría atractiva y simple, que no ha sido comprobada, a pesar de numerosos experimentos buscando demostrar la electrificación en el proceso de cambio de estado de vapor a agua (**Chalmers**, 1967).

Para rematar la exposición de los descubrimientos relativos a la electricidad del aire en el siglo de Franklin, recordemos que en 1795 Coulomb establece que el aire es un conductor de electricidad, pero la importancia de este hecho no fue reconocida sino hasta en 1887 por Liss, pese a que Matteucci había llegado en 1850 a la misma conclusión que Coulomb.

Conclusión

La ciencia denominada “electricidad atmosférica” nace en 1752. Hemos evocado los trabajos que contribuyeron a la creación de esta joven disciplina de las ciencias atmosféricas, y una visión panorámica de la evolución posterior sin duda sería recibida con gratitud. Pero me es imposible resumir los desarrollos que tuvieron lugar hasta nuestros días, y ni siquiera puedo remitir al curioso lector a un trabajo de conjunto que pretenda hacerlo.

Si comparamos los progresos realizados en esta rama de la meteorología con los que tuvieron lugar en la dinámica atmosférica, cuyas bases teóricas se sentaron casi al mismo tiempo que se descubría la electricidad atmosférica en el aire, con o sin nubes, constatamos que han sido penosamente lentos. Aún no existe una teoría universalmente reconocida de cómo se electrifican las nubes tormentosas, o cómo se forman, por ejemplo, los llamados rayos en bola o los recientemente descubiertos “duendes”, hermosos penachos azulados encima de poderosos cumulonimbos.

No obstante, para dar cierto relieve histórico a la exposición anterior, mencionemos alguna dificultad que ha caracterizado los desafíos de la electricidad atmosférica como ciencia.

El propio Franklin anotó en 1752 que “las nubes de una turbonada tormentosa se hallan, por lo común, en un estado negativo de electrificación, pero algunas veces se encuentran en estado positivo”. Desde que Franklin escribiera esas palabras se ha aceptado, empero, que el relámpago es el paso de carga eléctrica, positiva o negativa, de unas regiones de las nubes a otras, mientras que el rayo lo es entre las nubes y la tierra. Para que ocurra esa transferencia de cargas, la nube tiene que hallarse electrificada, es decir, las cargas eléctricas positivas deben estar separadas de las negativas. ¿Cómo se produce tal separación?

La historia nos enseña que vastas investigaciones se han centrado en la estructura eléctrica de las nubes. Una de las principales tareas modernas de los físicos dedicados al estudio de las tormentas consiste precisamente en descubrir la distribución correcta de las cargas. Tras la observación de Franklin, resultaba natural admitir que la distribución de cargas en una nube tormentosa obedece a un esquema sencillo, el de cargas positivas en una parte de la nube y cargas negativas en otra. Una polarización con esta simple estructura se conoce como un dipolo. Y para explicar esta estructura dipolar, se han propuesto y examinado dos modelos muy diferentes, el de la precipitación y el de la convección.

El premio Nobel C.T.R. Wilson (1869-1959), inventor de la cámara de niebla, fue el primero en utilizar medidas del campo electrostático para inferir la estructura de cargas en las nubes de tormentas eléctricas, así como las cargas involucradas en la descarga por relámpago. Wilson infiere que la nube tormentosa es un dipolo positivo, con cargas positivas en la parte superior de la nube y negativas en su base. Sir George C. Simpson (1878-1965), junto con Scrase en 1937, y con Robinson en 1941, hicieron las más tempranas medidas del campo eléctrico dentro de la nube tormentosa y usaron las medidas para inferir la estructura de cargas en ellas (**Rakov & Uman**, 2003). En el modelo de Simpson se invierte la dirección del dipolo de Wilson. En principio, para deducir la verdadera distribución de cargas, habría que medir el campo eléctrico en cada punto del espacio. Las mediciones realizadas por Wilson y Simpson no se referían más que a un solo punto, lo que no basta para inferir correctamente tal distribución.

Desde la controversia Wilson-Simpson, y transcurrido más de medio siglo de observaciones, se ha establecido que la estructura básica de las nubes tormentosas no es dipolar, sino tripolar. Este ejemplo demuestra que, pese a una abundancia de nuevos equipos y de novedosas técnicas de medición, las causas exactas del relámpago, del rayo y sobre todo de los mecanismos que electrifican las nubes, no dejan de preocupar a los físicos expertos ni a los meteorólogos “que viven en las nubes”. La descripción microfísica de la electrificación estática dentro de las tormentas continúa presentando un reto descomunal para las mentes capaces de abarcar en sus detalles los procesos cinéticos (formación de gotas y partículas de hielo), termoquímicos (crecimiento y estabilidad de los elementos nubosos), hidrodinámicos (partículas sacudidas por microturbulencia) y de formación de iones (por choque entre distintas clases de partículas en campos electromagnéticos o rayos cósmicos), entre otros. Parece que el granizo blando y el hielo desempeñan un papel decisivo, pero estas cuestiones se han de reservar para una exposición especializada.

Benjamin Franklin nos legó dos tareas monumentales, desafortunadamente aún no resueltas para satisfacción de todos. Sus contemporáneos alabaron sus hazañas en apretado latín con la sentencia: *Eripuit coelo fulmen sceterumque tyrannis*. No sólo arrebató al cielo el rayo, sino al tirano el cetro. Todavía seguimos luchando por explicar bien el cómo y el porqué de un rayo, y todavía tenemos que luchar por los derechos de cada ciudadano en vista de nuevas tiranías (no personificadas). Este gran americano merece las reverencias de sus coamericanos, y no en último término las de cada meteorólogo.

REFERENCIAS

Aepinus, F.U.T., 1759: *Aepinus's Essay on the Theory of Electricity and Magnetism*. Traducido al inglés por P.J. Connor; con una monografía introductoria y notas de R.W. Home. Princeton University Press, Princeton, 514 pp.

- Aristófanes**, 1987: Las Nubes. Lisístrata. Dinero. Alianza Editorial, Madrid, 241 pp.
- Aristóteles**, 1996: Acerca del Cielo. Meteorológicos. Biblioteca Clásica Gredos, 229. Editorial Gredos, Madrid, 430 pp.
- Chalmers, J.A.**, 1967: Atmospheric Electricity. Segunda edición. Pergamon Press, Oxford, 515 pp.
- Flammarion, C.**, 1902: La Atmósfera. Tomo II. (Traducción al castellano, revisada por N. Font y Sagué), Montaner y Simón, Barcelona, 368 pp.
- Franklin, B.**, 1758: Briefe von der Elektrizität (Cartas sobre la electricidad, traducción al alemán por J.C. Wilcke, de la obra Experiments and Observations on Electricity, 1751). G. Kiesewetter, Leipzig, 354 pp.
- Hellmann, G.**, 1898: Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus, No. 11 (Reproducción de textos y cartas sobre meteorología y magnetismo terrestre, editado por G. Hellmann): Über Luftelektrizität 1746-1753. A. Asher & Co, Berlin, 50 pp.
- Hermant, A. y Ch. Lesage**, 1997: L'électricité atmosphérique et la foudre. Presses universitaires de France, París, 128 pp.
- Hesiodo**, 1986 : Teogonía. Trabajos y días. Escudo. Certamen. Alianza Editorial, Madrid, 187 pp.
- Home, R.W.**, 1979: Ver Aepinus's Essay on the Theory of Electricity and Magnetism.
- Pelkowski, J.**, 2006: I & II. Teoría de los alisios durante la Ilustración. (En curso de publicación en el Boletín de la AME, Madrid.)
- Pelkowski, J.**, 2006: Insolación terrestre en la climatología teórica: de Halley a Milankovitch. (En curso de publicación en el Boletín de la AME, Madrid.)
- Prinz, Hans**, 1979: Gewitterelektrizität (Electricidad de tormentas). Deutsches Museum, 47, fascículo 1, Oldenbourg, Munich, 74 pp.
- Rakov, V. A. y M. A. Uman**, 2003: Lightning. Physics and Effects. Cambridge University Press, Cambridge, 687 pp.
- Séneca, L.A.**, (1979): Cuestiones Naturales. Tomo 1. (Editado por Carmen Codoñer Merino.) Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 160 pp.
- Solís, C. y M. Sellés**, 2005: Historia de la ciencia. Editorial Espasa Calpe, Madrid, 1191 pp.
- Vázquez y Morales, D.J.**, 1747: Ensayo sobre la electricidad de los cuerpos. Escrito en idioma francés por Mons. El Abate Nollet de la Academia Real de las Ciencias de París, y de la Regia Sociedad de Londres. Traducido en castellano por D. Joseph Vazquez y Morales. Añadida la historia de la electricidad. Madrid, 131 pp.