

La electricidad antes de Faraday. Parte 2

*Gabriel Poveda Ramos**

(Recibido el 29 de noviembre de 2002. Aceptado el de 30 de abril de 2003)

Resumen

Esta es la segunda y última parte de este artículo, cuya primera parte fue publicada en el número anterior de esta revista. Esta parte cubre el período de la Edad Moderna posterior al Renacimiento, hasta llegar a Faraday. Presenta los descubrimientos y los inventos que en este tramo de historia se hicieron en la teoría y en la experimentación en el campo de la electricidad, los cuales forman parte muy importante de esa ciencia, con el nombre de electrostática. Esta parte final (y el artículo completo) llegan hasta Faraday porque este gran científico reunió en un solo cuerpo de conocimientos la electricidad y el magnetismo.

----- *Palabras clave:* electricidad-historia, electrostática, Faraday, Coulomb.

The electricity before Faraday. Part 2

Abstract

This is the second and final part of this paper. The first part appeared in the former issue. This part deals with the period of the so-called Modern Age after the Renaissance, until the times of Faraday. Here the discoveries and inventions in the theory and practice of electricity made in that period are presented. Today they constitute a very important part of that science with the name of electrostatics. This final part reaches to Faraday because this great scientist merged in one body of knowledge two aspects: electricity and magnetism.

----- *Key words:* electricity-history, electrostatics, Faraday, Coulomb.

* Ingeniero Químico. Ingeniero Electricista. Doctor en Ingeniería. Profesor Emérito. Escuela de Formación Avanzada. Universidad Pontificia Bolivariana. mgt@logos.upb.edu.co.

Benjamin Franklin (Boston, 1706-Filadelfia, 1790)

Nacido en el hogar de un comerciante inglés, Franklin tuvo una infancia difícil. Poco tiempo pudo asistir a una escuela primaria, pero nunca pudo asistir a una secundaria. En su juventud aprendió por sí mismo gran parte de sus conocimientos y ejerció distintos oficios: tipógrafo, escritor, editor, político y otros. Solamente a los 40 años se pudo dedicar a sus estudios científicos, fundando al mismo tiempo la American Philosophical Society. Esto sucedió en 1746, cuando oyó por primera vez en su vida una conferencia sobre electricidad, acompañada de vistosas demostraciones, y esa experiencia le despertó un enorme entusiasmo por conocer e investigar esa ciencia. Adquirió todos los aparatos que entonces existían sobre el tema, y estudiando concienzudamente a Gilbert, a von Guericke, a Nollet y, sobre todo, a Watson, se entregó desde 1747 casi del todo a estudiar y a experimentar, incluyendo en sus ensayos a personas individuales y a grupos de personas tomados de la mano. Pronto advirtió que los cuerpos cargados y dotados de partes puntiagudas perdían fácilmente su carga; y que, recíprocamente, los cuerpos en estado neutro y dotados de tales puntas adquirirían fácilmente cargas externas a través de esas terminaciones aguzadas. Sorprendido por las analogías que percibió entre las chispas originadas en las máquinas electrostáticas y en cuerpos cargados, con los rayos atmosféricos, en 1752, se dio a estudiar con cometas y en momentos de tempestades la electricidad atmosférica. Milagrosamente no sufrió ningún accidente grave. Sus estudios le dieron las ideas fundamentales para inventar el pararrayos: una varilla puntiaguda, colocada verticalmente, muy alta sobre el suelo, en un sitio a la intemperie, y conectada al suelo con una cadena o un alambre grueso que se hundía profundamente en la tierra. Su sensacional invento fue

pronto conocido en todo el mundo y le dio fama internacional desde ese momento.

Franklin investigó extensamente las teorías, los fenómenos y los interrogantes de la electricidad. Creía que ésta era un fluido sin peso, de una sola naturaleza, cuya abundancia excesiva en algunas situaciones se expresaba como carga “positiva” y cuyo déficit, en otras ocasiones, se manifestaba como carga “negativa”. Fue Franklin precisamente quien inventó los términos “positivo” y “negativo” en relación con la electricidad. Sus teorías sobre el “fluido único” lo llevaron a un debate por correspondencia con el abate francés J. A. Nollet y los sostenedores de la teoría de “los dos fluidos”, defendida en especial, en ese momento, por Robert Symmer en 1759, y por el científico sueco Torbern Olaf Bergman (1753-1784) en 1765. Así por ejemplo, de acuerdo con Franklin, en una botella de Leyden, cuando ella está cargada, la lámina metálica interna y la externa, respectivamente, tienen cargas positivas y negativas en cantidades exactamente iguales; por eso se equilibran mutuamente, y por eso al descargar la botella ambos terminales quedan en estado neutro¹. En 1751 expone todas sus ideas sobre los fenómenos eléctricos en su libro *Opinions and conjectures concerning the properties and effects of the electrical matter*, publicado en Londres. En una serie de cartas, desde 1747 trató sobre el llamado “poder de las puntas”. Además, en el citado año 1751, estando en Londres, Franklin publicó un grupo de cartas suyas dirigidas al londinense Peter Collinson (1694-1768), donde describe las experiencias y las observaciones que aquél había realizado en Filadelfia, cartas en las cuales presenta una serie de experimentos referentes al uso de la botella de Leyden, a los rayos atmosféricos y al poder de las puntas. Las cartas dirigidas a Collinson y las que dirigió a otros miembros de la Royal Society fueron recogidas en el libro mencionado y en otro titulado *Experiments and observations*

1 www.fis.uc.pt.

made in Philadelphia, America, by Mr. Benjamin Franklin and reported in varied letters to Mr. P. Collinson in London.

El gran éxito que alcanzó el libro de Franklin durante el siglo XVIII lo demuestra el hecho de que tuvo cuatro ediciones, cada una más extensa que la anterior y que fue traducido al francés, al alemán y al italiano. La ciencia eléctrica le debe también la formulación del principio de conservación de la carga eléctrica y la explicación del fenómeno de la inducción electrostática. El primer pararrayos de importancia que funcionó en el mundo, fue instalado en el faro de Eddystone en Plymouth, en Inglaterra, en 1760. La Royal Society honró a Franklin otorgándole en 1753 el más alto galardón que esa institución reconocía al mérito científico, la medalla Copley. Franklin tuvo también una activa vida política y diplomática. Murió en Filadelfia rodeado de la admiración y el agradecimiento de todo el mundo².

Nollet³

Uno de los primeros científicos europeos que supo de los trabajos de Franklin y de su pararrayos fue al abate francés Jean-Antoine Nollet (1700-1770), amigo y colaborador de Du Fay. Era un investigador distinguido, miembro de la Academie des Sciences, profesor de física en París y preceptor del delfín de Francia. Fue un experimentador muy activo, tanto en los laboratorios de ciencias como en los salones aristocráticos donde en esa época llamaban la atención poderosamente los vistosos y sorprendentes experimentos con electricidad, especialmente cuando se realizaban con personas. Hizo numerosos descubrimientos y observaciones. En 1746 el abate Nollet escribió un volumen titulado *Leçons de Physique Experimental*, ilustrado con numerosos experimentos luminosos y ruidosos, en el que describe en detalle su método para producir y aplicar la electricidad friccional. En ese mismo año Nollet

hizo una presentación seria del fenómeno de la descarga de la electricidad estática a la Academie des Sciences en la que sugirió que los movimientos del cuerpo provocados por un choque eléctrico podrían ser usados en el tratamiento de la parálisis. Para esta presentación Nollet, con la ayuda de dos médicos, electrizó a dos pacientes paralíticos y uno de ellos indicó sentir cosquillas en los brazos, una sensación que dijo no haber tenido en muchos años⁴. Además de hacerlo con seres humanos, Nollet también realizó muchos experimentos eléctricos con animales y plantas. Este gran científico francés creía que la electricidad era debida a la acción de una “materia fluida en movimiento, semejante a la materia del fuego y de la luz”.

Nollet encontró que cuando un cuerpo no aislado se introduce en un campo eléctrico de influencia, se electriza. Este efecto había sido también observado por Gray. Nollet advirtió así mismo que cuando en dicho campo se colocan puntas agudas, las más aguzadas son las que primero emiten escobillas de luz. También Nollet parece haber sido el inventor de un electroscopio que consiste de dos hilos atados a un conductor, que divergen cuando reciben una misma carga eléctrica, como ya lo describimos.

Este infatigable investigador hizo, además, numerosos experimentos sobre la influencia de la electricidad sobre el flujo de líquidos a través de tubos capilares. Nollet llamó la atención hacia la semejanza entre la electricidad y los rayos, como ya lo habían hecho Wall, Gray, Winckler y otros.

Richmann

El gran interés que despertaron en Europa los trabajos de Franklin llevó a varios científicos en ese continente a tratar de repetir sus peligrosos experimentos con rayos y con electricidad atmosférica. Así murieron el físico Johann Gabriel

² www.enel.it.

³ www.bibliotecavigano.it.

⁴ www.facmed.unam.mx.

Doppelmayr (1671-1750), quien falleció como consecuencia retardada de la descarga eléctrica de una botella de Leyen⁵, y el físico Georg Wilhelm Richmann (1711-1753). Este era un físico alemán que había emigrado a Rusia y era profesor en la Academia Imperial de San Petersburgo. Junto con Mikhail Vasilevitch Lomonosov (1711-1765) fue el pionero del estudio de los fenómenos eléctricos en Rusia. Inventó un electrómetro de hilos y un electrómetro absoluto. El día 6 de agosto de 1753, investigando la electricidad atmosférica con un pararrayos sin “puesta a tierra” le cayó un rayo que lo mató inmediatamente⁶. Un ayudante suyo que lo acompañaba, N. Sokolov, presencié el accidente pero salió ileso.

Beccaria

Francesco Ludovico Beccaria (Mondovi, 1716-Turín, 1781) entró muy joven como sacerdote en la orden de los padres escolapios en la que tomó el nombre de Gianbattista. Estudió en la Universidad de Turín y allí mismo fue profesor de física. Se dio de lleno a investigar en electricidad, animado por el reciente invento de la botella de Leyden y por los trabajos de Franklin y Dalibard. En 1753, en Turín, publicó el libro *Del elettricismo artificiale et naturale*, en el cual trata sobre electrostática y sobre electricidad atmosférica. En 1758 publicó en Bolonia otro libro titulado *Lettere al Becaria* sobre el poder inductor específico de varias sustancias, sobre una explicación del magnetismo terrestre (el que atribuyó a una corriente eléctrica que circularía alrededor de la esfera terrestre) y sobre la hipótesis de un estrecho vínculo entre la corriente eléctrica y el magnetismo⁷. Pero su obra máxima la publicó en Turín en 1772 con el título *Elettricismo artificiale*, que mereció ser traducida al inglés, al francés y al latín. Una de las ideas nuevas y correctas que aportó Beccaria fue la de que la

electricidad estática se encuentra siempre en la superficie de los conductores. Inventó varios aparatos eléctricos como el “ceraunógrafo” para registrar y contar los rayos atmosféricos caídos en un sitio. Fue un firme sostenedor de la teoría frankliniana del “fluido único”; estudió las luminiscencias que se forman sobre las puntas de los conductores eléctricos fuertemente electrizados; e introdujo los conceptos de “fiocco” (fleco) y “stelleta” (estrellita) entendidos respectivamente como “emisor” y “receptor” del fluido eléctrico.

Beccaria produjo con una máquina electrostática, poderosas chispas debajo del agua, y notó la formación de burbujas que acompañaba a las chispas, aunque no sospechó que las burbujas se debieran a la descomposición del agua.

De la época de Beccaria y sus contemporáneos dice el gran físico italiano contemporáneo Emilio Segré: “A mediados del siglo XVIII, los experimentos con electricidad se habían puesto muy de moda”. Era común electrizar personas aislándolas del suelo y de todo otro contacto, y conectando el cuerpo (una mano, por ejemplo) a una máquina electrostática (de las cuales ya había varios tipos, además de la de Ramsden). Estas demostraciones eran realizadas en reuniones sociales y salones elegantes, lo mismo que como espectáculos comerciales frente a audiencias numerosas que pagaban dinero por presenciarlas, como ocurrió en Europa y en la América inglesa⁸.

Otros descubrimientos⁹

Probablemente el primer intento para usar la electricidad en aplicaciones telegráficas sobre circuitos largos fue realizado por Johann Heinrich Winckler (ya mencionado) en la Universidad de Leipzig en 1746. En alguno de sus experimentos

5 www2.enel.it.

6 www2.enel.it.

7 www2.enel.it

8 Peters.

9 Meyer.

él usó el río Pleisse como parte del camino de retorno de sus señales. Después de los trabajos de Gray y Du Fay sobre la transmisión de electricidad, la idea de usar la electricidad para transmitir mensajes se le ocurrió a numerosos experimentadores; pero antes del invento de la pila voltaica y del descubrimiento del electromagnetismo, la variedad de señales que eran posibles y su alcance eran muy limitadas. Meyer (véase bibliografía) dice que Winckler usó, probablemente, chispas eléctricas, como señales para intentar transmitir mensajes.

Uno de los descubrimientos de interés que hizo el ya mencionado Le Monnier fue que la cantidad de electricidad que se puede impartir a un cuerpo no es proporcional a su volumen sino a su superficie externa. Además, encontró que la forma del cuerpo influye en su capacidad para recibir cargas eléctricas.

En la época de 1745 a 1750 se había descubierto que una punta electrificada impulsa una corriente de aire, al mismo tiempo que lanza hacia adelante una descarga en forma de escobilla. El profesor Hamilton, en Dublín, usó este descubrimiento para construir el primer motor rotatorio operado por electricidad, el cual consistía en un alambre atravesando un corcho con sus extremos muy aguzados y doblados en direcciones opuestas. Cuando las puntas eran electrificadas, el dispositivo giraba mientras continuara la electrificación.

Benjamín Wilson (1721-1788) hizo un dispositivo parecido al de Hamilton, excepto que el de aquél tenía aletas en el corcho, sobre las cuales incidía una corriente de aire que salía de una punta electrificada colocada frente a las aletas y cerca de ellas.

Hawksbee, Nollet y otros habían observado ya la semejanza entre las descargas eléctricas en un vacío y la aurora boreal. Perh Vilhelm Margentin, secretario de la Academia Sueca de Ciencias, dirigió una carta a la Royal Society en Londres, fechada el 21 de febrero de 1750, en la cual expone sus observaciones referentes al efec-

to de la aurora boreal sobre la brújula. Si la aurora boreal era un fenómeno eléctrico, como muchos creían, este descubrimiento de Margetin establecía una relación entre electricidad y magnetismo. Ya se había descubierto también que trozos de acero que hubieran sido alcanzados por un rayo quedaban a veces imantados.

Además de LeMonnier y de Beccaria, el abate Guillaume Mazéas (1712-1776) hizo en Europa, durante los años de 1752 y 1753, numerosos experimentos sobre la electricidad atmosférica usando cometas y varillas elevadas y verticales. Los tres encontraron evidencias de electrificación, especialmente cuando había nubes de tormenta en el cielo. Este mismo físico observó que durante la noche, por lo general, había poca electrificación, pero que ésta aumentaba en gran medida después de la salida del sol y mermaba después del ocaso.

Canton descubrió que el aire de una habitación podía electrizarse, como también lo hizo Beccaria. El mismo Canton observó que el aire de una habitación adquiría el mismo signo de electricidad que el de un cuerpo cargado que estuviera allí alojado, y que la divergencia entre dos hilos que estuvieran atados a dicho cuerpo mermaba gradualmente a medida que el aire circundante se electrificaba, aun cuando la carga en el cuerpo fuera mantenida por una máquina eléctrica.

Georg Christoph Lichtenberg (1742-1799), profesor de filosofía natural en Gotinga, observó en 1777 que cuando se electrifican polvos finos, como las esporas del lycopodium, y se les esparce sobre una superficie que está electrificada con electricidad de distinto signo, las partículas se arreglan en bellas figuras geométricas. Los polvos cargados positivamente muestran figuras parecidas a plumas, mientras que los que están cargados negativamente se arreglan en figuras con formas de estrellas. Estas se llaman, con justicia, figuras de Lichtenberg y hoy en día se las produce más claramente sobre placas fotográficas.

En 1781, Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), el gran químico francés, mostró que cuando un sólido o un líquido se evapora o se convierte en gas, también se electriza; así como cuando se desprenden gases de un líquido en efervescencia causada por acción química.

Desaguiliers

John Théophile Desaguiliers (1683-1744) era un experimentador auxiliar en la Royal Society de Londres encargado de ayudar a preparar los experimentos que los conferencistas hacían para ilustrar sus explicaciones verbales en las sesiones de esa academia. Aprovechando esta circunstancia, Desaguiliers pudo hacer un gran número de experimentos originales sobre electricidad y basándose en ellos obtuvo las primeras generalizaciones sobre los dos tipos de electricidad: 1) un cuerpo “eléctrico” per se es uno en el cual se puede excitar electricidad por frotamiento, palmoteo, martillado, fusión, calentamiento o cualquiera otra acción sobre el mismo cuerpo; 2) un cuerpo no eléctrico es uno que no puede electrificarse por una acción inmediata sobre el mismo, aunque es capaz de recibir la “virtud eléctrica” (electrificación) desde un cuerpo “eléctrico”. Los no eléctricos fueron identificados por Desaguiliers con los “conductores”. Esto suena como una contradicción entre palabras pero si se recuerda que un trozo de metal no puede ser electrificado por fricción, se puede entender lo que quería decir Desaguiliers.

Dalibard¹⁰

Los franceses colocan al lado de Franklin, como investigador de la electricidad atmosférica, a Thomas François Dalibard nacido en Crannes en Champagne el 5 de noviembre de 1709 y muerto en París en 1779 después de una vida larga y fructífera como científico. Él continuó los

experimentos sobre el pararrayos de Franklin y sus experimentos demostraron que hay electricidad en la atmósfera aun en tiempo de calma. En la aldea de Marly-la-Ville, Dalibard realizó un gran experimento que puso en evidencia la naturaleza eléctrica del rayo. Varios científicos europeos repitieron este experimento fundamental: en Alemania, Bose y Andreas Gordon (1712-1750); en Rusia (1753) lo hizo Lomonosov (1711-1765); en Italia lo reprodujo Zanotti; y en la misma Francia lo hicieron Giovanni Giuseppe Verrat (1707; 1793), M. de la Garde y Benjamin Martin (1704-1782).

Como reconocimiento a su labor científica, el rey Luis XV otorgó a Dalibard una renta vitalicia de 1200 libras anuales. Sin embargo, este meritísimo físico ha caído casi totalmente en el olvido. Aunque Franklin trata sobre numerosos fenómenos que estudió Dalibard, nunca menciona al colega francés en sus escritos¹¹.

Otros constructores de máquinas

Las primeras máquinas electrostáticas que operaban con un disco giratorio, en vez de usar una esfera giratoria, aparecieron en los años setecientos ochentas. La máquina más poderosa del siglo XVIII era de disco y fue construida por John Cuthbertson (1743-1806), un fabricante inglés de instrumentos. Esta máquina, con discos gemelos de vidrio, de cinco pies de diámetro, instalada en la ciudad de Harlem, Holanda, podía producir chispas hasta de dos pies de largo y tan gruesas como un lápiz¹². Martinus van Marum (1750-1837) colaboró en la construcción de esta potente máquina, la cual era capaz de producir 300 descargas por minuto, a 60 KV y aún más¹³. El mismo Cuthbertson hizo otra máquina pequeña de discos que era tan portátil que la podía llevar consigo un médico en sus visitas domiciliarias a sus pacientes. En esa época se reporta-

10 www2.enel.it.

11 www.facmed.unam.

12 www.isd196.

13 www.isd196.

ron curaciones obtenidas por el uso del generador electrostático en casos de constipación, desórdenes nerviosos, dolores de cabeza, dolores de dientes, sordera y aun —según se decía— de ceguera¹⁴.

Otro inventor de máquinas de disco fue Jesse Ramsden (1735-1800), quien era un bien conocido y respetado constructor de instrumentos científicos en Inglaterra, y a quien ya se ha hecho referencia, más arriba.

Fueron numerosos los científicos que inventaron o mejoraron máquinas electrostáticas por rozamiento y, posteriormente, por inducción. En realidad fue este trabajo prolongado y compartido por muchos físicos y “mecánicos” lo que, en gran medida contribuyó a aumentar las posibilidades de experimentar con la electrostática y, por lo tanto, a hacer progresar el conocimiento de la ciencia eléctrica. A falta de poder tratarlas una a una, he aquí una relación de las máquinas que fueron más conocidas en su tiempo:

- Máquina de Holtz (Alemania, ~1875)*
- Máquina de Priestley (Londres, Inglaterra, ca. 1768)
- Máquina de Toepler (Riga, Estonia, 1865)*
- Máquina de Bertsch o de Piche (Francia, S. XIX)*
- Máquina de Voos o de Toepler-Holtz (Alemania, 1880)*
- Máquina de Lebiez, o de Voos simplificada
- Máquina de Bonelli (o de Wimshurst sin sectores) (Italia, 1890)*
- Máquina de Leyser (1893)*
- Máquina de Bohnenberger (Alemania, 1798)
- Máquina de Radiguet y Massiot (Francia)*
- Máquina de Bennet (duplicadora) (Londres, Inglaterra, 1787)
- Máquina de Nicholson (Inglaterra, 1788)
- Máquina de Wehrsen (Alemania, 1907)*
- Máquina de Wommelsdorf (máquina condensadora) (Alemania, 1904)*
- Máquina de Felici (de Noël Felici, en Francia, 1940-1960)*
- Máquina de Poggendorf (Alemania, 1869)*
- Máquina de Musaeus (Alemania, 1872)*
- Máquina de Nollet (Francia, ca. 1740)
- Máquina de Winkler (Alemania, 1744)
- Máquina de agua, de Lord Kelvin*
- Máquina de Belli (Italia, 1831)*
- Máquina de Varley (Estados Unidos, 1860)*
- Máquina de Guericke (Magdeburgo, Alemania, 1663)
- Máquina de Hawksbee (Londres, Inglaterra, 1705)
- Máquina de Bose (Wittenberg, Alemania, 1743)
- Máquina de Ramsden (Londres, Inglaterra, ca. 1760)
- Máquina de Ingenhousz (Holanda, 1746)
- Máquina de Cuthbertson (Haarlem, Holanda, 1785)
- Máquina de Nairne (Londres, Inglaterra, 1773)
- Máquina de van Marum (Holanda, 1770)
- Máquina de Armstrong (Inglaterra, 1840)*

¹⁴ www.isd196.

* Las máquinas así marcadas son posteriores a Faraday, pero se incluyen porque demuestran la importancia que este tema ha seguido teniendo aun a lo largo de los siglos XIX y XX.

- Máquina de Dubrowski o electróforo continuo*
- Máquina de Carré (Francia, 1868)*
- Máquina de Righi (electrómetro) (Italia, 1862)*
- Máquina de Schwedorf (Alemania, 1868)*
- Máquina de Wimshurst (Inglaterra, 1882)*
- Máquina de Kundt (Alemania, 1868)*
- Máquina de Cantoni (Italia, 1869)*
- Máquina de Pidgeon (Inglaterra)
- Máquina de Lemetrön (Suecia, 1899)
- Máquina de Planté (reostática)
- Máquina de R. J. van de Graaf (Estados Unidos, 1929)

Esta lista no está completa. Recuérdese, por ejemplo, que en 1929 fue inventado el generador de Van de Graaf, la máquina electrostática más grande y más potente que ha sido ideada. Aún así, esta lista es de mucho interés porque demuestra la importancia que las máquinas electrostáticas han tenido a lo largo de cuatro siglos como instrumento experimental y como aplicación de los conocimientos ya adquiridos en su momento, acerca de la electrostática.

Watson¹⁵

Ya se mencionó a William Watson (1715-1787) como uno de los científicos que perfeccionaron la botella de Leyden aplicándole en su cara externa y en la superficie interior sendas láminas de estaño a modo de electrodos. Era un apotecario (o boticario) en Londres cuando se dedicó al estudio de la electricidad con tanta asiduidad que llegó a ser uno de los experimentadores más activos del siglo XVIII en el campo de la electrostática. Fue el primero de ellos que trató de

medir la velocidad de propagación de la electricidad. Uno de los experimentos con que intentó esta medida consistió en enviar descargas de botellas de Leyden a lo largo de un alambre de cobre de 4 Km de longitud, como ya se dijo más arriba. Infortunadamente Watson concluyó de estas experiencias que la electricidad se propaga a velocidad infinita. Fue él quien introdujo las teorías de Franklin en Europa. Sus numerosos aportes le merecieron ser nombrado miembro de la Royal Society.

Watson perfeccionó también la máquina electrostática que había sido ya usada en Alemania por G. M. Bose. Además, fue el primero en darse cuenta de lo que hoy llamamos el principio de conservación de la carga eléctrica. Fue también un gran divulgador de las propiedades y de los fenómenos eléctricos. Con este fin publicó un libro titulado *La electricidad del entretenimiento*, que atrajo numerosos *amateurs* (que eran llamados “físicos electroficadores”) a la experimentación eléctrica. En 1784 reunió en un nuevo libro sus experiencias y sus conocimientos y lo publicó en París con el título de *Expériences et observations des propriétés de l'électricité*.

La inducción eléctrica y el electróforo

La inducción eléctrica es el fenómeno en que un cuerpo es electrificado cuando se le aproxima otro cuerpo que lleva una carga eléctrica. Sus efectos habían sido notados por Hawksbee, Gray, Nollet y probablemente por otros varios experimentadores. Ahora era investigado también por Franklin, Wilke, Canton y Aepinus. Los experimentos habían mostrado que cuando un cuerpo cargado era acercado a un conductor aislado, aparecía una carga de igual signo a la del primero en el extremo remoto del conductor aislado (como efecto de repulsión entre cargas de igual signo), y que si esta última fuera descargada a tierra y si el cuerpo cargado original fuera retira-

15 www.bibliotecavigano.

do, en el conductor aislado permanecería una carga de signo opuesto al del cuerpo cargado original. Cuando Stephen Gray hacía sus experimentos que lo llevaron a las ideas de cuerpos conductores y cuerpos aisladores, había descubierto efectos similares. El descubrimiento de los efectos inductivos condujo a la invención del electróforo en 1775 por Alejandro Volta. Consistía de un disco metálico plano, o un plato metálico pando, recubierto de lacre o de resina de pino y, provisto con un disco removible de metal, un poco más pequeño y dotado de un mango aislador en su centro. Cuando el lacre (o la resina) se frota con una piel de gato, se electriza, y si el disco removible se acerca a la superficie así cargada, se producen cargas inducidas en ese disco. Tocando con el dedo el disco removible, antes de retirarlo, las cargas repelidas escapan a tierra, después de lo cual el dedo se quita del disco y cuando éste es levantado, en él permanece una carga eléctrica libre. El electróforo fue un instrumento muy útil, porque daba cantidades bastante grandes de electricidad con muy poco esfuerzo.

Las teorías de los fluidos eléctricos

Después del descubrimiento de los dos tipos de electricidad, la “vítrea” y la “resinosa”, fueron desarrolladas dos teorías para explicar la existencia de estas dos formas de electricidad: la teoría de los dos fluidos de Jean Antoine Nollet y la de un solo fluido de Benjamin Franklin. Las teorías de “fluidos” surgieron porque eran sugeridas en la mente de sus autores por la transferencia espontánea de la electricidad entre diferentes materiales. El desplazamiento de esta transferencia era asimilado a la del agua en un río. La “tensión eléctrica” (diferencia de potencial) y la “corriente eléctrica” eran análogas a la diferencia de niveles de agua entre dos puntos, y al caudal de flujo de agua, respectivamente.

La teoría de dos fluidos imagina dos tipos de electricidad que pueden fluir el uno a través del otro. Como ya se dijo, en la teoría de un fluido la “electricidad positiva” significaba exceso del “fluido eléctrico” y la “electricidad negativa” era escasez del mismo. Pero ya hacia 1770 era claro para los científicos que, tal como lo sostuviera Du Fay, hay dos tipos de electricidad.

La electricidad sobre los seres vivos¹⁶

La idea de que la electricidad actuaba sobre el organismo humano y que por eso podía tener efectos terapéuticos eficaces cundió entre muchos médicos en toda Europa, dando origen a estudios serios y también a muchos alegatos completamente falsos. En 1746 el mismo abate Nollet escribió un volumen en el que describe con detalle su método para producir y aplicar en humanos la electricidad friccional. Además hizo numerosos experimentos con animales y plantas aplicándoles choques eléctricos. Uno de sus experimentos con animales consistía en suspender dos gatos de igual peso y electrizar a uno de ellos desde las 7 de la mañana hasta el mediodía, mientras el otro servía de comparación y control. El resultado era que ambos perdían peso, pero el electrizado perdía menos que el otro. Repitió el experimento con palomas y encontró que el fenómeno no era solamente de los gatos sino también de las palomas y de otros animales.

Para los experimentos con plantas, Nollet electrizó semillas de mostaza durante diez horas, usando como control otras semillas expuestas al sol durante el mismo tiempo pero sin electrizarlas. Encontró que las electrificadas germinaban antes y en mayor porcentaje que las expuestas solamente al sol y sin electrificar. Hoy en día esos experimentos nos parecen sumamente extravagantes, pero debe recordarse que en aquel tiempo casi nada se sabía sobre la naturaleza de la

16 www.facmed.unam.

electricidad en los seres vivos, ni de sus propiedades, ni siquiera de aquella electricidad que era producida por animales como los peces eléctricos.

El abate Nollet escribía en 1746:

En cuanto en física aparece cualquier novedad, la curiosidad se apodera de ella inmediatamente y se le adhiere o se le aleja, bien pronto satisfecha. A ello sigue el interés y se exige que lo que sea admirado también sea útil.

Y en el mismo año el médico veneciano Eusebio Sguario (a quien ya se aludió) escribía: “Apenas se conoció que el poder que tenía la electricidad sobre el cuerpo humano era tan grande, enseñada se buscó si ella también habría podido [...] darle algún alivio a las deficiencias de la salud”.

Otros médicos y científicos proponían usar la electricidad para tratar y curar enfermedades humanas, en la creencia de que ese podía ser un método exitoso de recuperar la salud. Por supuesto y por el contrario, había médicos que se oponían a la electroterapia, y uno de ellos escribió:

No sólo no he tenido éxito tratando pacientes con electroterapia, sino que es claro como el día, que de acuerdo con todo lo que es conocido sobre la fisiología animal, la enfermedad y los poderes de la electricidad, ésta está lejos de ser una cura; y que estos métodos lastiman a los pobres pacientes que se han sometido a estas pruebas.

Sin embargo las posibilidades de la electroterapia seguían siendo importantes porque los médicos de la época no sabían diferenciar entre las varias causas de -por ejemplo- la parálisis de una extremidad y reportaban tantos casos de éxito como de fracaso con el uso de cualquier tratamiento, como pudieran serlo los choques eléctricos. En 1787 el científico Sigaud de la Fonde (1740-1810) amonestó: “Todos los diarios italianos se llenan de curaciones maravillosas que no

tenían otro fundamento que el entusiasmo, para no decir nada de la mala fe de aquellos que los hacían publicar”¹⁷.

De todos modos, después de los experimentos que hizo Nollet para tratar pacientes paralizados, la técnica de la aplicación de la electricidad se extendió por toda Europa, con el resultado que se desarrollaron los procedimientos más complicados y se hicieron las conclusiones más extrañas. Además, aparecieron numerosos libros sobre electricidad escritos por algunos de los tratadistas más famosos de la época. Tales fueron, por ejemplo, en Inglaterra el predicador metodista John Wesley, en Francia el contrarrevolucionario Jean-Paul Marat, y en Estados Unidos el estadista y científico Benjamin Franklin.

Priestley

Joseph Priestley (1733-1804) fue uno de los padres de la ciencia química como se la conoce hoy. El más importante de sus aportes en este campo fue el descubrimiento del oxígeno. Pero también dedicó una gran parte de su trabajo científico al estudio de la electricidad. Él descubrió que en una esfera, hueca o maciza, las cargas se distribuyen uniformemente por toda su superficie, y que en su interior no hay cargas ni fuerzas eléctricas¹⁸, y más en general, que cuando un recipiente es electrificado, no ejerce ninguna fuerza eléctrica sobre objetos situados en su interior. Además redescubrió la ley de Du Fay, según la cual dos cuerpos cargados con un mismo tipo de electricidad, sea positiva o sea negativa, se rechazan mutuamente, y que si tienen cargas de distinto tipo los cuerpos se atraen. Descubrió, además, que el carbón es buen conductor de la electricidad. Conociendo muy a fondo el trabajo de Newton, e inspirado por éste, Priestley llegó a la conclusión de que la intensidad de las fuerzas entre cargas electrostáticas, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Cabe anotar que una

17 Bonera.

18 <http://vicentelopez O.>

prueba experimental directa de la ley del inverso cuadrado de la distancia fue obtenida por John Robinston (1739-1805) en Escocia, pero este gran estudioso no publicó este resultado tan importante y por eso su mérito de descubrir este importantísimo resultado ha sido ampliamente olvidado.

Uno de los aportes más importantes de Priestley a la formación de la ciencia eléctrica fue su extenso libro *History and Present State of Electricity, with original Experiments*¹⁹ (1767, con 736 páginas), donde presenta una detallada cronología del avance histórico de esta ciencia, y donde expone sus ideas y sus experimentos sobre la misma, y que apareció en 1767. La segunda edición de este libro apareció en 1769 y allí su autor describe la máquina electrostática de su misma invención. Priestley inventó los conocidos “anillos de Priestley” y con ellos demostró el carácter oscilatorio de la chispa eléctrica. Publicó este y muchos otros hallazgos suyos en las *Philosophical Transactions* de Londres. Priestley demostró una notable capacidad de visión dentro de la naturaleza de la electricidad y predijo que futuros desarrollos de este “arte” iban a superar de lejos todo lo que ya se conocía sobre él.

Primeros telégrafos

Estando ya bien establecida la noción de conductor eléctrico y de impulso eléctrico, y habiendo máquinas electrostáticas potentes, empezó a surgir en varios investigadores, en varios países de Europa, la idea de comunicar a distancia las señales eléctricas que, de acuerdo con algún código, permitieran transmitir mensajes. Es decir, que se comenzó a pensar en telégrafos electrostáticos. Así lo hizo en Italia en 1767, el “electricista” G. Bozzoli, quien presentó un proyecto de telégrafo de este tipo, pero que resultaba de muy corto alcance²⁰. Algo análogo había sucedido en Francia en 1774 con un telégrafo

eléctrico presentado por George-Louis Lesage (1724-1803); y en Londres, en 1767 con un telégrafo electrostático propuesto por R. L. Edgeworth para comunicar el centro de la ciudad con el New Market. Ninguno de ellos tuvo éxito pero tuvieron el mérito de dejar en los medios científicos la idea de que la electricidad podía ser el medio de transmitir mensajes a larga distancia, como lo lograrían Morse y Wheatstone ya en el siglo XIX.

El estado del arte hacia 1770

Es instructivo hacer aquí un alto y presentar el conocimiento que ya existía sobre la electricidad en el año 1770 y sus inmediatos anteriores y posteriores. Ya se sabía entonces:

- Que hay dos tipos de electricidad, o quizás uno solo que puede agregarse en exceso a algún cuerpo y puede retirarse en exceso de otros.
- Que la cantidad de electricidad se conserva.
- Que hay cuerpos aisladores de la electricidad, en los que la carga no puede moverse, tales como el vidrio, la cerámica, el caucho, la madera seca, etc.
- Que hay conductores de la electricidad y que en éstos las cargas pueden moverse libremente, como es el caso de los metales que entonces se conocían.
- Que las cargas de un mismo signo se repelen.
- Que las cargas de signo opuesto se atraen.
- Qué es la inducción o influencia electrostática.
- Qué es la capacidad eléctrica de un cuerpo (la que hoy se llama capacitancia).

¹⁹ Atherton.

²⁰ www2.enel.it.

- Que la botella de Leyden y demás condensadores permiten almacenar las cargas eléctricas.
- Que un cuerpo cargado da lugar a efectos eléctricos a su alrededor, con una “tensión” que es mayor cerca a aquél y es menor lejos de él²¹.

Ya existían tratados de electricidad como los que hemos mencionado de Musschenbroek, de Priestley y otros. Pero todavía la electrostática era en gran parte un tema que atraía e interesaba a magos, médicos y sortílegos, y no tanto a los grandes físicos como Newton, Huygens y Hooke. Hasta mediados del siglo XVIII las contribuciones de la investigación en el campo de la electricidad y el magnetismo tuvieron un carácter empírico y acumulativo. Pero no lograron producir creaciones teóricas del nivel de las leyes del movimiento de Newton, o de la hidrodinámica de Euler, que precisamente en esos años acababan de realizarse²².

Cavallo

Tiberio Cavallo (1749-1809) era un constructor de instrumentos científicos que vivía en Londres a finales del siglo XVIII y que se interesaba en la “filosofía natural”. En 1770 construyó un electroscopio indicador que fue muy útil como instrumento registrador de cargas electrostáticas. Poco tiempo después, el físico Horace de Saussure (1740-1799) introdujo perfeccionamientos al aparato de Cavallo y lo convirtió en electrómetro registrador, que no solo registraba sino que medía cargas eléctricas. Cabe señalar también que de Saussure fue uno de los primeros científicos europeos que construyó pararrayos siguiendo las indicaciones de Franklin²³. En cuanto a Cavallo, es interesante destacar que en 1788

construyó en su taller el primer condensador en aire, con placas metálicas²⁴.

Hacia 1770, en Europa, el tiempo estaba ya maduro para el establecimiento de una teoría cuantitativa de la electricidad estática. Un ejemplo de una teoría de este tipo, la gran teoría de la gravitación de Newton, debe haber estado presente en la mente de muchos experimentadores, como paradigma sobresaliente de lo que ahora era necesario crear para la ciencia eléctrica²⁵.

Cavendish

Lord Henry Cavendish nació en Niza en 1731 y falleció en Londres en 1810 y es recordado como uno de los grandes científicos que construyeron la ciencia química. Pero Cavendish hizo también un grande aporte al desarrollo de la ciencia eléctrica. En este campo, intentó explicar los principales fenómenos eléctricos mediante la teoría de un “fluido elástico” que se acercaba a la propuesta por Aepinus, pero superándola en exactitud y extensión. Por primera vez determinó la capacidad (como se decía entonces) o capacitancia (como se dice hoy) y el grado de electrización de un conductor, acercándose mucho a la definición de “potencial eléctrico”. Además Cavendish estudió la capacidad eléctrica de los cuerpos de varias formas, refiriéndola a la capacidad de la esfera, capacidad ésta que Cavendish mostró que es proporcional a su radio geométrico. Para sus estudios, Cavendish inventó la balanza de torsión con la cual verificó la ley de la gravitación de Newton. Con su balanza, él formuló claramente la ley de atracciones y repulsiones electrostáticas proporcionales al inverso del cuadrado de la distancia entre las cargas eléctricas.

Cavendish también estudió la “electricidad animal” de algunos peces como el “torpedo” y el

21 Peters.

22 www.bibliotecavigano.com.

23 www.bibliotecavigano.com.

24 www2.enel.it.

25 Peters.

gimnoto. Pero pese a todos sus importantes y originales trabajos, Cavendish no los publicó y así permanecieron ignorados hasta el siglo XIX, cuando fueron descubiertos por su familia y pudieron ser valorados en su gran mérito²⁶. La Universidad de Cambridge honró a Cavendish en forma póstuma al darle el nombre del gran físico a uno de sus laboratorios de física, laboratorio que después fue dirigido, entre otros, por el gran Maxwell.

Electricidad, fuego y luz

Durante buena parte del siglo XVIII la ciencia “natural” o empírica de la electricidad supuso que había una sustancial equivalencia entre los tres “principios” electricidad, fuego y luz. Es decir, que se creía que la electricidad está reducida a los caracteres evidentes de la chispa eléctrica y por ello se creía que la electricidad es fuego y luz. Ésa era una concepción sustancialista de la electricidad cuyo aprovechamiento requería solamente que se le administrase un “alimento” (“pabulum” era el término latino que se usaba entonces) a esta fuente de electricidad como fuego-luz. Dos entidades (el fuego y la luz) que en la antigüedad fueron consideradas como cualidades elementales del cosmos y que todavía en el siglo XVIII aparecen asociadas a una “cosmología del fuego”.

Por ejemplo, si la barra de resina lanza chispas a la primera fricción, quiere decir que ella está llena de fuego; porque esas chispas no solo son luz fría, sino que pueden poner fuego al alcohol. Esta “física natural” tenía su microfísica. Esta sostenía que el fuego latente está aprisionado en los pequeños alvéolos de la materia, y que la fricción, al romper las paredes de estos alvéolos, libera el fuego. Si esta liberación se generalizaba, un fuego visible y constante se encendería sobre la barra de resina que fuera frotada con una piel de gato²⁷.

En el terreno de la experimentación, ocurrió que la instrumentación y la habilidad experimental que se desarrollaron en este nuevo ámbito de investigación científica tuvieron una vasta popularización a través de una serie de demostraciones vistosas (aunque no muy serias) de los efectos del “electricismo” para beneficio o daño de las personas, tales como estremecimientos eléctricos comunicados a grupos de voluntarios conectados entre ellos, y toda una serie de otras exhibiciones, que se hacían en salones o en público, y que servían para mantener viva la atención sobre este curioso ámbito fenoménico y científico.

Como hemos dicho, también se trató de aplicar la electrización a la cura de enfermedades, pero los resultados fueron más presuntos que reales, y no sin riesgos para la integridad de las personas. Pero en parte indujeron a muchos a hacer investigaciones alrededor de los aspectos eléctricos relacionados con fenómenos biológicos, investigaciones que se prolongaron largo tiempo, hasta llegar a las de Galvani.

La amplia masa de datos experimentales que ya se había adquirido poco después de mediados del siglo XVIII tenía que inducir a prospectar algunas tentativas de explicación del nuevo e importante ámbito fenoménico constituido por los estudios eléctricos. Pero a pesar de los esfuerzos para introducir alguna exactitud en las nociones usadas para describir los fenómenos eléctricos, y de las tentativas embrionarias de conectar este nuevo ramo de la ciencia física con el sólido tronco de la mecánica, aún estaba lejos la posibilidad de realizar una verdadera matematización de esta nueva disciplina. Pero ya comenzaba a sentirse la exigencia de hacerlo.

Petrov

Vasili Vladimirovich Petrov (Obojan, 1761-San Petersburgo, 1834) fue uno de los pocos pero

²⁶ www2.enel.it.

²⁷ www.bibliotecavigano.

distinguidos científicos rusos que hicieron investigaciones y aportes en el campo de la electricidad antes de Volta. Él descubrió y estudió la descarga en arco eléctrico estable, antes que Davy (a quien es usual atribuirlo); y demostró la posibilidad de electrizar los metales mediante la fricción. Con una batería voltaica compuesta de 2.100 elementos de cobre, ácido y zinc, de longitud de 12 metros, estudió la dependencia de la electrólisis respecto a la temperatura de los electrolitos y de los electrodos²⁸.

Coulomb

Charles Augustin de Coulomb (Angulema 1736-París 1806) se formó en la escuela de ingenieros militares de Mezières y luego sirvió como ingeniero militar en Martinica. En 1761 volvió a París. Retirado del servicio por los avatares políticos, Coulomb se dedicó a la investigación sobre temas físicos como el rozamiento y otros. Reinventó la balanza de torsión que ya antes habían inventado Cavendish, Priestley y John Michel (1724?-1793) para medir fuerzas gravitatorias y magnéticas. Con este instrumento y con una inmensa paciencia se dedicó a medir las fuerzas de atracción y de repulsión entre polos magnéticos y entre cargas eléctricas. En 1777 publica una memoria científica inspirándose en Musschenbroek y Aepinus, sobre el mejor método de construir agujas magnéticas, donde afirma que los fenómenos magnéticos pueden ser explicados sólo con referencia a las mismas fuerzas que determinan la gravedad y la física celeste. Con sus mediciones descubre y aclara los conceptos de carga eléctrica y unidad de polo magnético. En 1784 entra a la Academie des Sciences y se dedica a las investigaciones matemáticas sobre la “electrología”. Es entonces cuando establece que las fuerzas entre polos magnéticos y entre cargas eléctricas son ambas proporcionales a las “masas magnéticas” y a las “masas eléctricas”, respectivamente e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que separa a

los polos o a las cargas, respectivamente. Desde 1785 hasta 1789 publica siete memorias sobre sus resultados, que lo harán célebre²⁹. El abate Nollet había notado la posibilidad de comparar cargas eléctricas desde 1747, bien fuera midiendo con un transportador el ángulo formado por la separación de dos alambres cargados, u observando las máximas distancias a que esas cargas pudieran hacer saltar chispas. Coulomb inventó la famosa esfera que le permitió establecer que “una vez que se alcanza un estado de equilibrio, la electricidad se distribuye sobre la superficie de un cuerpo y no penetra en su interior”, y demostró matemáticamente este hecho. Gracias al trabajo de Coulomb, muchos de los efectos que habían sido observados en el siglo XVIII fueron explicados. Los adelantos del siglo fueron así culminados por Coulomb estableciendo las bases de la electrostática experimental y teórica, que sus trabajos fundamentaron sólidamente.

Coulomb fue el último de los grandes experimentadores de esa primera fase de la llamada “era eléctrica”, un período que cubre dos siglos de historia y de investigaciones, iniciado con la obra de Gilbert (1600) y terminado con la invención de la pila de Volta (1800). Los adelantos del siglo fueron culminados así por el gran “savant” francés estableciendo las bases de la electrostática experimental y teórica que sus seguidores, Simeon Denis Poisson (1781-1840) y Lord Kelvin (1824-1901) desarrollaron más aún en el siglo XIX.

El nacimiento de la electroquímica en Italia

Durante los años finales del siglo XVIII aumentó en toda Europa el interés por el estudio de la electricidad. Pero al parecer ese entusiasmo fue mayor en Italia, donde descollaron notoriamente los nombres de Fabroni, Galvani y Volta³⁰.

28 www2.enel.it.

29 Peters.

30 www2.en.el.it.

El científico italiano Giovanni Valentino María Fabroni (Florenca, 1752-Florenca, 1822) publicó en 1792 una memoria sobre la acción entre diferentes metales sumergidos en líquidos, en la cual expone una teoría precursora de lo que llegaría a ser la pila de Volta.

Basándose en sus experimentos con patas de rana, Luigi Galvani (1737-1798) desarrolló toda una doctrina sobre la “electricidad animal” que fue acogida por varios científicos europeos, incluyendo a Coulomb. Y aunque su creencia en una “electricidad” generada por los órganos de los cuerpos de animales no fuera del todo correcta, ella sirvió para lanzar a Volta a estudiar el tema y al invento de la pila galvánica.

En los treinta años que precedieron a su invención de la pila, Volta³¹ ya se había hecho famoso como experimentador y publicista en el campo de la electricidad. Su primer escrito fue publicado en 1769. En 1775 inventó el “electróforo perpetuo” para almacenar grandes cantidades de cargas electrostáticas “y que funcionaba sobre el principio de la inducción electrostática”; y en 1782 hizo el nuevo invento del electroscopio condensador³². Volta hizo conocer su invención de la pila mediante un opúsculo en lengua francesa que envió a su amigo Tiberio Cavallo en Londres, para que la transmitiese al presidente de la Royal Society, Joseph Banks (1743-1820), quien lo publicó en marzo de 1800, causando una enorme sorpresa entre todos los científicos de Europa. En este escrito, Volta describe la pila de metales diferentes (plata y zinc) alternados, que en contacto con agua acidulada generaban un flujo de corriente eléctrica constante. Con esta nueva fuerza el agua se descomponía y se podía producir un depósito eléctrico de un metal en el

otro. Juzgando desde el punto de vista actual, en la polémica que surgió entonces entre Galvani y Volta, el uno y el otro tenían parte de razón. Como lo han demostrado todas las investigaciones de los siglos siguientes, existe en realidad tanto una “electricidad animal” (si bien debe entenderse en un sentido bastante distinto al de Galvani), como una electricidad originada en el contacto entre dos metales diferentes. De todos modos los descubrimientos de Galvani y de Volta abrieron la vía de un nuevo tipo de investigaciones que daría grandes frutos en las etapas inmediatamente siguientes de los desarrollos de la química y de la física.

En 1802 el abogado italiano Gian Domenico Romagnosi descubre (dieciocho años antes de Oerstedt) que las corrientes eléctricas crean un campo magnético circundante, pero su hallazgo pasó desapercibido y fue olvidado por muchos años. Otro italiano, Luigi Valentino Gasparo Brugnatelli (1761-1818), usando grandes baterías de pilas voltaicas, descubrió en 1805 el proceso de recubrir electrolíticamente con oro otros metales. Pero los científicos de su tiempo no lo supieron y también Brugnatelli fue olvidado por muchos años³³.

Después de la divulgación del invento de Volta, la electrostática y de manera semejante la magnetostática lograron cumplir grandísimos progresos, hechos posibles gracias al vínculo con la mecánica que les crearon Poisson, Gauss y Green. Y en las manos de Oerstedt, Ampère, Biot, Laplace, Arago y Faraday, la electrostática se convierte en electrodinámica y en electromagnetismo. Pero esta es una historia de una época más reciente que sí es relatada por un mayor número de autores de esta última parte de la historia de la electricidad³⁴.

31 Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827).

32 Bibliotecavigano

33 Poveda, 2001.

34 Para informarse sobre el nacimiento de la electroquímica en Italia y en Europa, véase el documento “Doseientos años de electroquímica 1800-2000” de este mismo autor, publicado en otra parte.

Referencias*

- Atherton, W. A. From compass to computer. San Francisco. San Francisco Press, Inc. 1984. 337 p.
- Bernal, John D. Historia social de la ciencia. 2 vol. Barcelona. Ediciones Península. 1967. 540 y 518 pp.
- Bonera, G. "Il caso dell' Electricità:dalle Origine a Volta": Pavia. Universidad de Pavia. 2001
- Encyclopedia Britannica. Artículos "Electricity", "Thales", "Gilbert", "Hauksbee", "Franklin", "Guericke", "Coulomb".
- Gamow, George. Biografía de la física. Madrid. Alianza Editorial. 1960. 414 p.
- Hall, A. Rupert. La Revolución científica 1500-1750. Barcelona. Editorial Grijalbo. 1985. 549 p.
- Heilbron, J.L. Electricity in the 17th and 18th Centuries. A study in early modern physics. Mineola, New York. Dover Publications Inc. 1979. 606 p.
- Hellemans, Alexander y Bryan Bunch. The timetables of science. New York. Simon And Schuster. 1988. 656 p.
- Meyer, Herbert W. A history of electricity and magnetism. Norwalk, Connecticut. Burndy Library. 1972. 325 p.
- Papp, Desiderio. Ideas revolucionarias en la ciencia. 3 Vol. 2ª ed. Santiago de Chile. Universitaria. 1993.
- Poveda Ramos, Gabriel. "El magnetismo antes de Faraday y su Incorporación en Colombia". Artículo inédito.
- Weinberg, Steven. Partículas subatómicas. Barcelona. Prensa Científica S.A. Editorial Labor. 1985. 206 p.
- <http://inri.online.fr/dali6.html>. "Caracterisation de l'electricité dans la foudre". Consultado el 7/diciembre/2001
- http://www2.enel.it/home/enelandia/storia_nj/person/green.htm. "George Green". Consultado el 20/diciembre/2001
- http://www2.enel.it/home/enelandia/storia_nj/person/beccaria.htm. "Giovanni Battista Beccaria". Consultado el 20/diciembre/2001
- http://www2.enel.it/home/enelandia/storia_nj/person/musschen.htm. "Pieter van Musschenbroek". Consultado el 26/diciembre/2001
- http://www2.enel.it/home/enelandia/storia_nj/person/franklin.htm. "Benjamin Franklin". Consultado el 26/diciembre/2001
- http://www2.enel.it/home/enelandia/storia_nj/person/gilbert.htm. "William Gilbert". Consultado el 26/diciembre/2001
- http://www2.enel.it/home/enelandia/storia_nj/person/petrov.htm. "Vasili Vladimirovic Petrov". Consultado el 26/diciembre/2001
- <http://isd196.k12.mn.us/Schools/avhs/AV%20Connect/Science/Estaticnotes.html>. "Electrostatic Notes". Consultado el 30/noviembre/2001
- <http://www.sln.org/pieces/otoole/Statichistory.htm>. "A Short History of Electrostatics". Consultado el 29/noviembre/2001
- http://fr.encyclopedia.yahoo.com/articles/kh/kh_2068_p.o.html. "Stephen Gray". Consultado el 7/diciembre/2001
- <http://www.bibliotecavigano.it/sezioneII.htm>. "L'Elettricismo tra '600 e '700. Il Contributo Italiano". Consultado el 17/diciembre/2001
- http://www2.enel.it/home/enelandia/storia_nj/elettromacchine.htm. "L'Electtostatica. Le Machine Elettrostatica". Consultado el 22/diciembre/2001
- http://www2.enel.it/home/enelandia/storia_nj/elettrostatica.htm. "L'Elettrostatica. L'Elettricità Statica". Consultado el 22/diciembre/2001
- <http://www.coe.ufrj.br/~acmq/electrostatic.html>. "Electrostatic Machines". Consultado el 28/noviembre/2001
- <http://www.facmed.unam.mx/historia/Electricidad.html>. "El Potencial de Acción. Electricidad. La Electricidad Estática". Consultado el 7/diciembre/2001

Documentos de Internet

- <http://inri.online.fr/dali4.html>. "Thomas-François Dalibard, un savant pluridisciplinaire". Consultado el 12/enero/2002.
- <http://www.fis.uc.pt/ihti/proj/fisica/electros.htm>. "A Electrostática de Otto von Guericke a Charles de Coulomb". Consultado el 12/enero/2002.
- <http://electricite.multimania.com/page4.htm>. "Premières Machines". Consultado el 12/enero/2002.
- <http://www.ac-amiens.fr:8090/c1998/nollet.htm>. "Jean Antoine Nollet". Consultado el 12/enero/2002.
- <http://physics.brown.edu/Studies/Demo/em/demo/5a5010.htm>. "5A50.10. Wimshurst Machine". Consultado el 12/enero/2002.

* En cada uno de estos libros, excepto el de Heilbron, se encuentran solo fragmentos de información sobre el tema del artículo.

http://galileo.cyberscol.qc.ca/internet/pheno_extreme/foudre_historique.htm. "Historique1". Consultado el 7/diciembre/2001

<http://library.thinkquest.org/19662/high/eng/18th.html>. "History:18 th century". Consultado el 19/diciembre/2001

Libros consultados sin resultados

- Arons, Arnold B. Evolución de los conceptos de la física. México. Trillas. 1970. 1007 p.
- Crombie, A.C. Historia de la ciencia: de San Agustín a Galileo. 2 Vol. Madrid. Alianza Editorial. 1959. 340 y 354 pp.
- Dampier, Sir William Cecil. Historia de la ciencia. Madrid. Editorial Aguilar. 1941 734 p.
- Enciclopedia Salvat de las Ciencias. Vol. 12. "Historia de la física". Barcelona. Salvat.
- Flores Montejano, Adelaido y Domínguez Álvarez, Héctor A. Pioneros de la física. México. Trillas. 1988. 172 p.
- Grant, Edward. La ciencia física en la Edad Media. México. Fondo de Cultura Económica. 1983. 239 p.
- Jeans, James. Historia de la física hasta mediados del siglo XX. México. Fondo de Cultura Económica. 1953. 417 p.
- Mason, Stephen F. Historia de las Ciencias. 6 Vol. Madrid. Alianza Editorial. 1984.
- Moulton, Forest Ray y Justus J. Schifferens. Autobiografía de la ciencia. 2ª ed. México. Fondo de Cultura Económica. 1986. 642 p.
- Papp, Desiderio y José Babini. La ciencia del Renacimiento. Astronomía, física y biología. Tomo VI de Panorama general de historia de la ciencia, por Aldo Mieli. Buenos Aires. Argentina S.A. Espasa- Calpe. 1952. 193 p.
- Price, Dereck de Solla. Science since Babylon. New Haven y Londres. Yale University Press. 1976. 215 p.
- Ronan, Colin A. Science: its history and development among world's cultures. New York. Facts on File Publications. 1982. 543 p.
- Sepúlveda S., Alonso. Historia de la Física. Desde los griegos a nuestros días. Medellín. Cooperativa de Profesores de la Universidad de Antioquia. 1995. 440 p.
- Singer, Charle. A history of scientific ideas. New York. Barnes and Noble. 1996. 525 p.
- Snyder, Ernest. Historia de las ciencias físicas. Barcelona. Labor. 1973. 141 p.
- Von Lawe, Max. Histoire de la physique. Paris. Lamarre Editeurs. s.f. 198 p.
- Weaver, Jefferson Hane y Lloyd Motz. The story of physics. New York. Avon Books. 1989. 412 p.