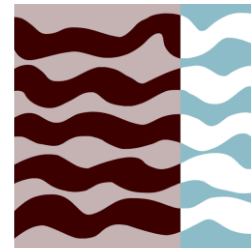


# Historia de la Electricidad

Ingeniería agrónoma grado en  
hortofruticultura y jardinería



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



**ETSIA**  
Cartagena

Jorge Cerezo Martínez



# Índice

1. Prólogo.....	3
2. William Gilbert.....	4-5
3. Otto von Guericke.....	6
4. Charles François de Cisternay du Fay.....	7
5. Benjamín Franklin.....	8-9
6. Charles-Augustin de Coulomb.....	10-13
7. Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta.....	14
8. Félix Savart.....	15
9. Michael Faraday.....	16
10. Compilación de leyes y otras síntesis.....	17
11. Epílogo.....	18
12. Referencias.....	19

## Prólogo

Me permitiré unas líneas, que aunque no hablan de la física, tienen mucho que ver con este trabajo.

Empezaré diciendo que dedico este último (por ahora) trabajo de física a mi familia, en general, por su apoyo incondicional, y a mi hermano Pablo, en particular, por mostrarse solícito a todas mis dudas sobre la física. A él también agradezco su persistencia para que no exiliara de mi vida las ciencias, sino, hubiera enfocado mi vida completamente hacia las letras, más concretamente la filosofía, y no hubiera disfrutado de esta visión tan amplia que las ciencias me han aportado y seguirán aportándome. Sin duda, elegí la opción más difícil pero estuvo motivado por el ánimo de superación, mi interés y sobre todo, y he de reconocerlo, mi gran orgullo personal.

Mi vida ha estado marcada por grandes batallas y conflictos, no en campos, ni con armas ni fusiles, sino en el interior del alma, con mi familia, mis amigos, mis relaciones... De todas formas creo que he salido bien parado de todas ellas, y lo que es más importante sigo vivo para poder contarlo.

Parece que en la vida no hay más remedio que luchar cada día o sucumbir, hay que superarse cada día, despertarse con el interés de descubrir algo nuevo, mirar con ojos llenos de pasión hacia el mundo porque tiene tanto por enseñar y tenemos tanto que aprender.

Hablando más particularmente de física diré, que he pretendido una síntesis muy somera debido a la amplísima cantidad de información manipulada; habría gustado de incorporar más información, ser más detallista, tratar los temas más profundamente, pero habrían supuesto textos farragosos, abstrusos y para nada útiles y manejables.

La visión que queda es depurada, generalista y ante todo clara y concisa en grado sumo; para ello he comenzado con el que consideré padre real de la electricidad, si bien ya desde época de los griegos se trataron estos temas y con algunos aciertos donde resonaron algunos nombres como el de Tales de Mileto, pero no manipularon el conocimiento con pureza, y lo mezclaron, en todo momento, con la filosofía.

Por último he compilado algunas fórmulas de científicos de gran calibre cuyas teorías resuenan con mucha fuerza hoy día.

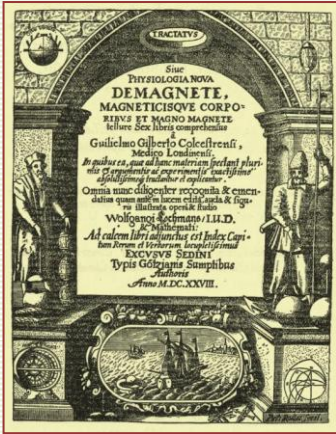


Photo provided by University of Leeds

La fama de William Gilbert apoya especialmente en sus estudios sobre el magnetismo contenidos en el imán y los cuerpos magnéticos (*De magnete magneticisque corporibus*). Esta obra, que Galileo calificó de fundamental, fue publicada en Londres en 1600, serviría de base para el renacimiento científico inspirado por Johannes Kepler, Galileo e Isaac Newton en el siglo XVII. Gilbert compiló en ella sus investigaciones sobre cuerpos magnéticos y atracciones eléctricas distinguiendo netamente los fenómenos eléctricos de los magnéticos, y refiriendo los resultados de algunas de sus experiencias dirigidas a demostrar que el hierro, al ser frotado por cuerpos electrizados como el diamante, no presenta fenómenos magnéticos. Con este propósito introdujo el autor nuevos términos que serían después usados corrientemente en la física ("polos magnéticos", "fuerza eléctrica", "cuerpos eléctricos y no eléctricos"). Al mostrar que el hierro, a altas temperaturas, no presenta alteraciones magnéticas, se adelantó a los modernos descubrimientos de Curie.

Gilbert encontró en el magnetismo lo que creía que era el alma de la Tierra.



Photo provided by Encyclopedia Britannica



## William Gilbert. Colchester, Inglaterra 1544 † Londres 1603

Físico y médico inglés. Nació en 1544 en una familia de clase media de Colchester, Inglaterra, y murió de peste en Londres en 1603, fue sepultado en Colchester, donde se le erigió un monumento sepulcral.

No se sabe mucho sobre su infancia, pero sí que se educó en St. Johns College, en Cambridge, hasta 1569.

Durante los 11 años que permaneció allí, se formó como médico. Viajó por Europa durante algunos años y en 1573 regresó definitivamente a Inglaterra, en cuya capital ejerció la medicina teniendo tanto éxito en su carrera que en 1589 fue uno de los comisarios encargados de la dirección de la *Pharmacopeia Londinensis*, obra que no vio la luz hasta 1618. En 1599 se convirtió en presidente del Real Colegio de Médicos y en 1601 fue nombrado médico personal de la reina Isabel I; a la muerte de la reina Isabel en marzo de 1603, su sucesor Jacobo I le confirmó en el cargo.



Jacobo I de Inglaterra

En paralelo a su vida profesional como médico, Gilbert tenía otra vida que giraba alrededor de su interés por el magnetismo. Desde 1581 a 1600 realizó experimentos de electricidad y magnetismo, a menudo en colaboración con otras personas con su mismo interés, según señalan sus biógrafos. El uso de la brújula magnética se extendió pronto a Europa a través de Oriente Medio. Sin embargo, la naturaleza del magnetismo y de las propiedades direccionales de la brújula siguió siendo un misterio rodeado de mitos que atrajo la curiosidad de Gilbert y sus colegas.

Para la posteridad ha quedado sobre todo como un notable astrónomo y físico. Fue uno de los primeros que aceptó en Inglaterra la teoría copernicana. Es notable su obra *De mundo nostro sublunari philosophia nova*, publicada después de su muerte por su hermano (Amsterdam, 1615). En ella, además de defender con vehemencia el sistema copernicano, aventuró como hipótesis que las estrellas fijas pueden encontrarse a diferentes distancias de la tierra, y no en una única esfera.

William era un gran observador de la naturaleza, a la que intentaba arrancar sus secretos. Su curiosidad sobre las brújulas y los imanes llevó a este médico inglés del siglo XVI a internarse en la física, campo en el que sus cuidadosas explicaciones de observaciones y razonamientos sentaron la base de la ciencia experimental moderna.



Isabel I de Inglaterra

Esto supuso el punto de inflexión entre el pensamiento medieval y la ciencia moderna, aunque a menudo se equivocara en sus conclusiones. También introdujo las observaciones experimentales en ciencia de una forma sistemática. Desde el tiempo de los griegos se hicieron experimentos, pero Gilbert fue el primero que de forma metódica relacionó los experimentos con sus teorías y los detalló para que pudieran ser reproducidos por otros.

Como han señalado los científicos e historiadores en recientes revisiones del libro *De Magnete*, definió un método y una filosofía de la ciencia experimental 20 años antes del famoso llamamiento de sir Francis Bacon en pro de un sistema deductivo de investigación y observación empíricas para descubrir los secretos de la naturaleza.



Galileo Galilei ante el santo oficio de Joseph Nicolas Robert-Fleury

En una época en que se consideraba una herejía la realización de experimentos que pudieran entrar en conflicto con las enseñanzas de la Iglesia o que presentaran ideas que chocaran con la filosofía del pasado, el libro de Gilbert destacaba en solitario. Hay que recordar que los *Principia* de Newton no se publicaron hasta 1687, *De Magnete* también se anticipa a *Astronomia nova* (1609), de Kepler, en el que enunció las primeras dos leyes de sus tres leyes de movimientos planetarios, y a *Sidereus Nuncius* (1610), de Galileo, en que se informaba de las primeras observaciones con telescopios.

Gilbert creía en la teoría copernicana de que la Tierra no es el centro inamovible del universo. Pensaba que el planeta giraba sobre su eje, pero pensaba erróneamente que este movimiento estaba relacionado con el magnetismo, que incluso podía ser su causa. El concepto del giro de la Tierra era considerado tan inaceptable en aquella época que en muchas copias de su libro estas páginas fueron arrancadas o borradas.



Brújula fabricada por William Gilbert

Galileo, que elogió el libro, dijo que la copia que él tenía fue un regalo de alguien que quería "Salvar su biblioteca del contagio".

Para estos experimentos, reprodujo los huecos de los océanos en la piedra y demostró que las pequeñas agujas señalaban de forma distinta dependiendo de su proximidad o alejamiento a las masas elevadas.



Photo provided by Vaan Lest Antiques

Entre los objetos que utilizó en sus experimentos estaba una piedra esférica que llamó Terrella; la "Terrella" es la palabra en latín para designar la "Pequeña Tierra", el nombre dado por William Gilbert a una esfera imantada con la que demostró a la reina Isabel I su teoría sobre el magnetismo terrestre. Moviendo una pequeña aguja de compás alrededor de la terrella y mostrando que siempre apuntaba en la dirección nort-sur, Gilbert sostuvo la opinión de que lo mismo, a una escala mayor, ocurría sobre la Tierra y fue la única razón del por qué la brújula apunta en la dirección nort-sur. También al analizar el hecho de que existen pequeñas variaciones en la dirección de las brújulas, dependiendo del lugar en que se encuentren mostró que esto ocurre porque la Tierra no es una esfera perfecta. La Terrella ayudó a hacer otros experimentos de geomagnetismo, como la demostración de que la orientación de la brújula cambia cerca de masas terrestres y de montañas.

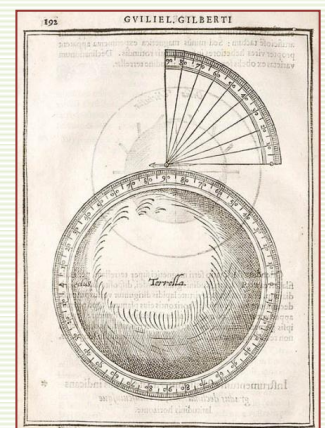


Photo provided by National Maritime Museum



Retrato del rey Gustavo II Adolfo.

Los aires en Europa estaban claramente cargados de tensiones tanto religiosas como políticas, en una época en que el protestantismo estaba en claro apogeo y la contrarreforma hacía cada vez más severas las represiones.

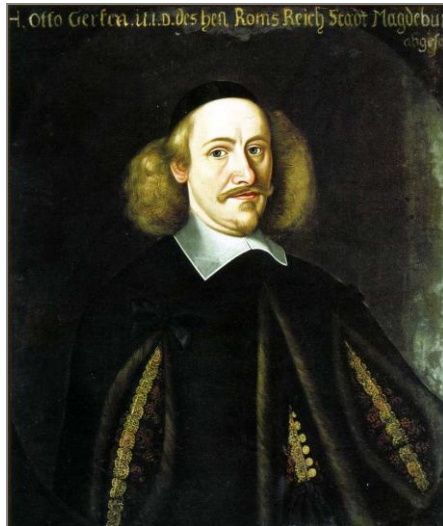
En este clima se librará la guerra de los Treinta Años en donde Guericke servirá como ingeniero en el ejército de Gustavo II de Suecia.

En la sangrienta batalla de Lützen el 6 de noviembre de 1632 los soldados suecos vencen pero Gustavo II muere.

Años más tarde tendrá audiencias con su sucesora Cristina I de Suecia, gran promotora de las artes y las ciencias a través de su mecenazgo



Descartes en la Corte de la reina Cristina de Suecia de Pierre Louis Dumesnil. Museo Nacional del Palacio de Versalles.

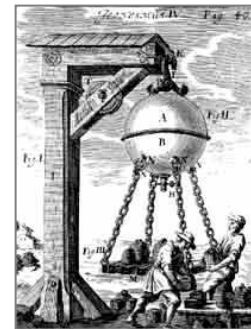


**Otto von Guericke.**  
**Magdeburgo, 20 de noviembre de 1602 †**  
**Hamburgo, 21 de mayo de 1686.**

Físico e ingeniero alemán estudió derecho en las universidades de Leipzig y Jena. Luego se dedicó a los estudios de matemática en la universidad de Leyden. Desde 1646 se desempeñó como juez en la ciudad de Magdeburgo durante treinta años. Aparte de su carrera como jurista, su pasión fue la física.

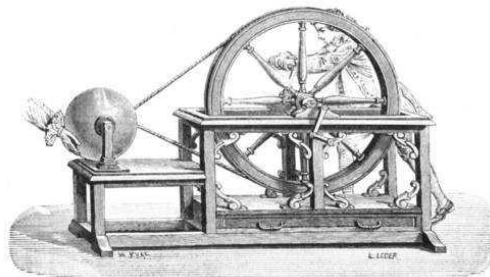
Estudió los tratados de Blaise Pascal y Evangelista Torricelli sobre la presión atmosférica. En 1654, Von Guericke adquirió reputación como mago entre la gente de Magdeburgo al hacer una espectacular demostración de la inmensa fuerza que la atmósfera podía ejercer. Mostró que cuando dos hemisferios de cobre de 50 centímetros de diámetro perfectamente ajustados eran unidos de manera que formasen una esfera y se hacía el vacío en su interior, dos tiros de ocho caballos cada uno no podían separarlos. En otro experimento más inmediatamente relacionado con la historia de la máquina de vapor mostró que cuando se creaba un vacío parcial bajo un émbolo de grandes dimensiones introducido en un cilindro, la fuerza sumada de cincuenta hombres no podía evitar que la presión atmosférica llevase el émbolo al fondo del cilindro.

Pudo comprobar que el sonido no puede propagarse en el vacío. Para demostrar los efectos de la presión atmosférica ideó el experimento con los hemisferios de Magdeburgo en 1654 ante la Dieta Imperial de Ratisbona presidida por Fernando III y su corte. Ideó la primera máquina electrostática y sacó chispas de un globo hecho de azufre, lo cual le llevó a especular sobre la naturaleza eléctrica de los relámpagos.



En astronomía fue uno de los primeros en afirmar que puede predecirse el retorno de los cometas.

En 1672 publicó su obra *Experimenta nova, ut vocatur Magdeburgica, de vacuo spatio*, donde describe su célebre experimento con los hemisferios de Magdeburgo.



Máquina que consiste en una esfera de azufre torneada, con una manija a través de la cual, la carga es inducida al posar la mano sobre la esfera.

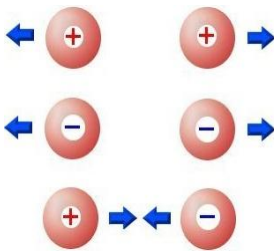


### Charles François de Cisternay du Fay. París 1698 †1739.

Entre 1730 y 1750, la vanguardia de la experimentación eléctrica fue liderada por investigadores franceses, en particular Charles François de Cisternay du Fay. Este científico repitió los experimentos de Stephen Gray, von Guericke y otros, obteniendo una comprensión más cabal de las fuerzas de repulsión y de atracción. Con ello llegó a algunas conclusiones importantes, tales como que la mayoría de los objetos podían ser electrificadas sólo por el roce y que los materiales eran mejores conductores si estaban mojados.

Otro de sus importantes descubrimientos fue que el color no estaba relacionado con la conducción de la electricidad, como sí sostenía Gray. Pero el descubrimiento más significativo de du Fay fue la existencia de dos tipos de electricidad, lo que dedujo reproduciendo las experiencias de von Guericke. Al hacerlo, se percató de que los cuerpos eléctricos atraen aquéllos que no lo son, pero que los repelen tan pronto se convierten en eléctricos por proximidad o contacto con los objetos eléctricos originales. Luego puso en contacto una lámina de oro con un globo de vidrio frotado. Tal como lo esperaba, el globo de vidrio atrajo la lámina de oro e inmediatamente la repulsó. Entonces puso la lámina cerca de una pieza frotada de copal (una resina incolora) y, asombrado, observó que la lámina de oro era atraída por el copal. Él había esperado que ambos objetos electrificados se repelieran.

Para explicar este inesperado comportamiento, du Fay postuló la existencia de dos tipos de fluidos eléctricos y los denominó vítreo y resinoso en función del material que los generaba. Según él, en general, la materia es neutra porque contiene cantidades iguales de ambos fluidos. Sin embargo, si la fricción separa los fluidos de la sustancia y la deja desbalanceada, la misma atraería o repelería otra sustancia. Esta fue la “teoría de los dos fluidos” de la electricidad.



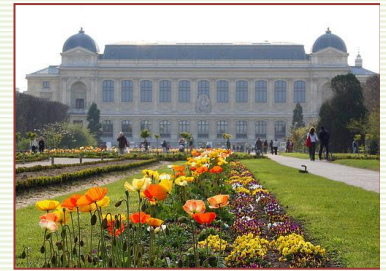
Su descubrimiento se informó en un documento escrito en diciembre de 1733 e impreso en el Volumen 38 de las Transacciones Filosóficas de la Royal Society en el año siguiente. Los términos vítreo y resinoso fueron utilizados durante quince años, hasta que fueron sustituidos por los vocablos “positivo” y “negativo” acuñados por William Watson y Benjamin Franklin.

Franklin propuso una teoría opuesta a la de du Fay que sostenía que la electricidad consistía en una sola clase de fluido, formado por partículas extremadamente sutiles.

Como sabemos ahora, du Fay se equivocó al suponer que hay dos diferentes tipos de electricidad. Pero aunque falló en explicar el fenómeno, pasó a la historia como el primero en identificar la existencia de dos cargas eléctricas: positiva y negativa.



Sede de la Royal Society



Jardin des plantes en París, Francia

Du Fay fue un sabio de gran versatilidad y capacidad científica, como lo demuestra el hecho de que él era el único que había contribuido a los anales de la Academia en cada uno de los seis temas admitidos por esta institución como digno de reconocimiento. Su reputación en materia eléctrica la obtuvo haciendo varios descubrimientos y corrigiendo errores de anteriores investigadores. En 1732 el rey Luis XV el bien amado lo nombró superintendente de los jardines reales en París, donde destacó como un activo botánico.



Louis XV Rey de Francia y Navarra, copríncipe de Andorra y Duque de Anjou, retrato de Hyacinthe Rigaud



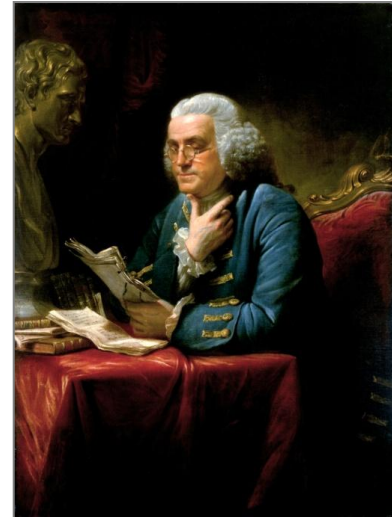
Photo provided by Le Roy C. Cooley

Franklin estaba particularmente interesado en la electricidad y en el magnetismo, que en aquellos momentos se comprendían muy poco. En 1745, un físico holandés llamado Pieter van Musschenbroek, que vivió en la ciudad de Leyden, inventó un dispositivo de almacenamiento eléctrico que se conoció como "la botella de Leyden"; y sería la experiencia de Franklin con este ingenio la que inspiró su experimento más famoso. Las botellas de Leyden, al ser tocadas, producían una chispa y una descarga eléctrica. Sospechando que el rayo era una forma de electricidad similar a la chispa de la botella de Leyden, Franklin decidió intentar capturar la electricidad de un rayo en una de sus botellas.

Un día de 1752, conectó un alambre a una cometa de la cual pendía un hilo de seda atado a una llave. Hizo volar su cometa hacia un nubarrón y, cuando colocó su mano cerca de la llave, una chispa saltó entre ambas. Después consiguió cargar la botella con la energía del rayo, a través de la llave, al igual que podía haberla cargado con una máquina generadora de chispas. Fue una emocionante demostración de que el rayo y la humilde chispa de la botella eran el mismo fenómeno. Cuando informó sobre su experimento creó sensación, y como recompensa fue admitido como miembro en la Royal Society de Londres. Pero tuvo mucha suerte: las dos personas siguientes en intentar el mismo experimento terminaron electrocutadas.

### **Benjamín Franklin. Boston 17 de enero de 1706 † Filadelfia 17 de abril de 1790)**

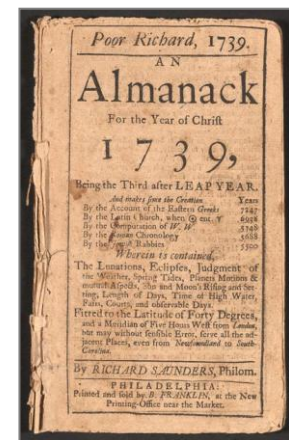
Filósofo, político, físico, economista, escritor y educador, figura clave en la Independencia de los Estados Unidos de Norteamérica, creó las bases de lo que hoy se entiende como "el ciudadano americano ejemplar". Era el decimoquinto de diecisiete hermanos, cursó únicamente estudios elementales, y éstos sólo hasta la edad de 10 años pues comenzó a aprender el oficio de su padre, que era un pequeño fabricante de velas y jabón.



Cansado de este trabajo, se colocó a los 12 años en la imprenta de uno de sus hermanos, desarrollándose así su amor a la cultura. El escaso tiempo libre lo empleaba en devorar todo tipo de libros que caían en sus manos.

Sus primeros versos y artículos los publicó en un periódico que su cuñado había fundado. A los 17 años, debido a discusiones con él, se traslada a Nueva York para hacer fortuna. Respaldo por el gobernador de Filadelfia, instala una imprenta y decide ir a Londres a comprar el material. Allí, olvidándose un poco de sus propósitos principales, trabaja en la imprenta Pelmer, conociendo a distinguidas personalidades.

Cuando tenía dieciocho años, viajó de Filadelfia a Londres, con la expectativa de unas cartas de recomendación que finalmente no dieron resultado. Sin embargo, encontró trabajo de impresor. Siendo todavía adolescente, los libros que imprimía y sus propios escritos lo pusieron en contacto con algunas de las figuras literarias del momento. Cuando tenía veinte años volvió a Filadelfia para trabajar en la tienda de un amigo y fundó el periódico *La Gaceta de Pensilvania*, que publicó entre los años 1728 y 1748, también publicó en el *Almanaque del pobre Richard* (1732-1757).



Almanaque del pobre Richard

Franklin se interesó por la ciencia en esa época y estuvo claramente influido por científicos coetáneos como Isaac Newton, o Joseph Addison. Durante el resto de su vida, aunque comprometido con la escritura, la edición, la política y la diplomacia, se mantuvo al tanto de los últimos descubrimientos gracias al contacto con otros científicos y a sus propios experimentos. En 1743 fundó la primera sociedad científica norteamericana, la *American Philosophic Society*. También encontró tiempo para desarrollar unas cuantas invenciones notables, incluidas los pararrayos, las lentes bifocales, el cuentakilómetros, el catéter urinario, el humidificador, la armonía de cristal y la estufa de Franklin entre otros.



Fue nombrado director general de Correos y ya entonces propuso en el Congreso de Alvan un proyecto para unir las colonias. También fue miembro del Congreso Continental y, en 1776, firmó la Declaración de la Independencia, ganándose hábilmente las simpatías de franceses, españoles y holandeses. Desde esa fecha hasta 1785 estuvo de embajador en París, donde se hizo muy popular en las logias francmasónicas, e intervino en la paz con Inglaterra, contra la que había luchado en pro de las libertades de Estados Unidos.



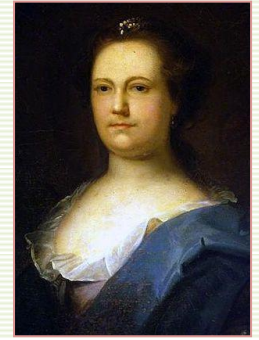
Juramento de la Declaración de Independencia de Estados Unidos, Benjamín Franklin situado a la izquierda de Thomas Jefferson

A su regreso fue recibido esplendorosamente y elegido presidente del estado de Pensilvania hasta 1789, año en que se retiró, tras formar parte de la Convención que desarrolló la Constitución de su país.

Sus trabajos acerca de la electricidad le llevaron a formular conceptos tales como el de la electricidad negativa y positiva, a partir de la observación del comportamiento de las varillas de ámbar, o el de conductor eléctrico, entre otros. Así mismo, expuso una *teoría del fluido único* acerca de la electricidad en la que consideraba que ésta era un fluido sutil que podía presentar un exceso o un defecto, descubrió el poder de las puntas metálicas al observar que un cuerpo con carga eléctrica se descarga mucho más deprisa si termina en punta, y enunció el principio de conservación de la carga eléctrica. La gran curiosidad que sentía por los fenómenos naturales le indujo a estudiar, entre otros, el curso de las tormentas que se forman en el continente americano, y fue el primero en analizar la corriente cálida que discurre por el Atlántico norte y que en la actualidad se conoce con el nombre de corriente del Golfo. Su temperamento activo y polifacético lo impulsó a participar también en las cuestiones de ámbito local, por ejemplo, en la creación de instituciones como el cuerpo de bomberos de Filadelfia, la biblioteca pública y la Universidad de Pensilvania. Fue el único americano de la época colonial británica que alcanzó fama y notoriedad en la Europa de su tiempo.

Murió en 1790, abrumado de honores científicos y títulos de diversas universidades de Europa y Norteamérica. Veinte mil personas asistieron a su funeral en Filadelfia. Había hecho buen uso de sus años de escuela.

Firma de Benjamín Franklin



#### Deborah Read Rogers 1708 † 1774

Deborah Read jugó un papel importante en la fundación de los Estados Unidos simplemente por asumir la gestión de su negocio familiar. Al hacerlo, permite a su marido, padre fundador Benjamin Franklin la oportunidad de proseguir activamente su papel en la política estatal y nacional en las décadas antes y después de la Revolución Americana. Deborah Read nació alrededor de 1707 con John Read, un carpintero de Londres, Inglaterra, y Sarah White Read de Birmingham.

En sus escritos biográficos, Benjamin Franklin describe el primer vistazo de Deborah Read le hacía cuando tenía diecisiete años. Read observó a un joven alto, fornido pasar la tienda de su padre en el mercado de Filadelfia masticando un rollo de pan. Sus bolsillos abultados con pares de medias, y llevaba más de dos rollos, uno debajo de cada brazo. Mientras miraba, Deborah se rió en voz alta.

Franklin pronto se convirtió en un inquilino en la casa de Read, en Filadelfia. La unión entre Franklin y Deborah que duró 44 años y tuvo tres hijos con, William, Francis y Sarah.

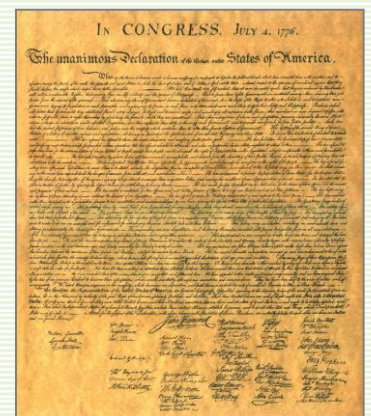
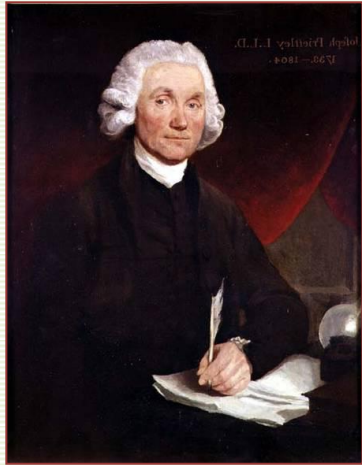


Photo provided by The Freeman Ideas on Liberty



### Joseph Priestley 1733 † 1804

Nació el 13 de marzo de 1733 en Fieldhead, hijo de un ministro calvinista. Químico británico, considerado uno de los fundadores de la química moderna por sus aportaciones al campo de la experimentación, que aisló y describió varios gases (el oxígeno entre otros).

La ley de que la fuerza entre cargas eléctricas es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre las cargas fue demostrada experimentalmente por el químico británico Joseph Priestley alrededor de 1766. Priestley también demostró que una carga eléctrica se distribuye uniformemente sobre la superficie de una esfera metálica hueca, y que en el interior de una esfera así no existen cargas ni campos eléctricos.

Su formación estaba orientada para que fuera ministro de la Iglesia de los disidentes que comprendía varias iglesias separadas de la Iglesia de Inglaterra. Estudió en la Academia Daventry, donde empezó a interesarse en la física.

Priestley fue animado a dirigir experimentos sobre la nueva ciencia de la electricidad por el estadista y científico estadounidense Benjamin Franklin, a quien conoció en Londres en 1766. Priestley escribió al año siguiente Historia de la electricidad.

Durante los experimentos que Priestley realizó en 1774, descubrió el oxígeno y describió su función en la combustión y en la respiración. Defensor de la teoría del flogisto, Priestley llamó al nuevo gas "aire deflogistizado" pero no fue totalmente consciente de la importancia que su descubrimiento tendría en el futuro.



### Charles-Augustin de Coulomb. Angoulême, Francia, 14 de junio de 1736 † París, 23 de agosto de 1806

Fue un físico e ingeniero francés. Se recuerda por haber descrito de manera matemática la ley de atracción entre cargas eléctricas. En su honor la unidad de carga eléctrica lleva el nombre de culombio (C). Entre otras teorías y estudios se le debe la teoría de la torsión recta y un análisis del fallo del terreno dentro de la Mecánica de suelos.

Se educó en la École du Génie en Mézieres y se graduó en 1761 como ingeniero militar con el grado de Primer Teniente. Después de pasar nueve años en las Indias Occidentales como ingeniero militar donde supervisó la construcción de fortificaciones en la Martinica, regresó a Francia con la salud maltrecha. Tras el estallido de la Revolución Francesa, se retiró a su pequeña propiedad en la localidad de Blois, donde se consagró a la investigación científica.



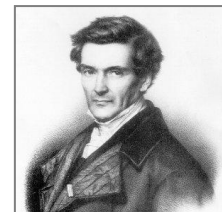
Toma de la Bastilla de Jean-Pierre Houël

En 1774, Coulomb se convirtió en un corresponsal de la Academia de Ciencias de París. Compartió el primer premio de la Academia por su artículo sobre las brújulas magnéticas y recibió también el primer premio por su trabajo clásico acerca de la fricción, un estudio que no fue superado durante 150 años.

Sus investigaciones científicas están recogidas en siete memorias, en las que expone teóricamente los fundamentos del magnetismo y de la electrostática. En 1777 inventó la balanza de torsión para medir la fuerza de atracción o repulsión que ejercen entre sí dos cargas eléctricas, y estableció la función que liga esta fuerza con la distancia. Con este invento, culminado en 1785, Coulomb pudo establecer el principio, que rige la interacción entre las cargas eléctricas, actualmente conocido como ley de Coulomb (que detallaremos más adelante): Coulomb también estudió la electrización por frotamiento y la polarización, e introdujo el concepto de momento magnético.

Durante los siguientes 25 años, presentó 25 artículos a la Academia sobre electricidad, magnetismo, torsión y aplicaciones de la balanza de torsión, así como varios cientos de informes sobre ingeniería y proyectos civiles. Coulomb aprovechó plenamente los diferentes puestos que tuvo durante su vida. Por ejemplo, su experiencia como ingeniero lo llevó a investigar la resistencia de materiales y a determinar las fuerzas que afectan a objetos sobre vigas, contribuyendo de esa manera al campo de la mecánica estructural.

También hizo aportaciones en el campo de la ergonomía. Su investigación brindó un entendimiento fundamental de las formas en que la gente y los animales pueden trabajar mejor e influyó de manera considerable en la investigación subsecuente de Gaspard Coriolis (1792-1843).



Gaspard Coriolis

Otro aporte de Coulomb es la llamada *Teoría de Coulomb para presión de tierras*, publicada en 1776, la cual enfoca diferente el problema de empujes sobre muros y lo hace considerando las cuñas de falla.

Coulomb murió en 1806, cinco años después de convertirse en presidente del Instituto de Francia (antiguamente la Academia de Ciencias de París). Su investigación sobre la electricidad y el magnetismo permitió que esta área de la física saliera de la filosofía natural tradicional y se convirtiera en una ciencia exacta. La historia lo reconoce con excelencia por su trabajo matemático sobre la electricidad conocida como *Leves de Coulomb*.



Académie des Sciences, París

Anima y protege el espíritu de la investigación, y contribuye al progreso de las ciencias y de sus aplicaciones

### Ley de Coulomb

Influido por los trabajos del inglés Joseph Priestley sobre la repulsión entre cargas eléctricas del mismo signo, desarrolló un aparato de medición de las fuerzas eléctricas involucradas en la ley de Priestley, y publicó sus resultados entre 1785 y 1789. Estableció que las fuerzas generadas entre polos magnéticos iguales u opuestos son inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia entre ellos, lo cual sirvió de base para que, posteriormente, Simon-Denis Poisson elaborara la teoría matemática que explica las fuerzas de tipo magnético.

Charles de Coulomb inventó una balanza de torsión para medir con precisión la fuerza que se ejerce entre las cargas eléctricas. Con ese aparato confirmó las observaciones de Priestley. En la barra de la balanza, Coulomb colocó una pequeña esfera cargada y a continuación, a diferentes distancias, posicionó otra esfera también cargada. Luego midió la fuerza entre ellas observando el ángulo que giraba la barra.

Dichas mediciones permitieron determinar que la fuerza de interacción entre dos cargas  $q_1$  y  $q_2$  duplica su magnitud si alguna de las cargas dobla su valor, la triplica si alguna de las cargas aumenta su valor en un factor de tres, y así sucesivamente. Concluyó entonces que el valor de la fuerza era proporcional al producto de las cargas:

$$F \propto q_1 \text{ y } F \propto q_2$$

En consecuencia:

$$F \propto q_1 \cdot q_2$$

Si la distancia entre las cargas es  $r$ , al duplicarla, la fuerza de interacción disminuye en un factor de 4 ( $2^2$ ); al triplicarla, disminuye en un factor de 9 ( $3^2$ ) y al cuadruplicar  $r$ , la fuerza entre cargas disminuye en un factor de 16 ( $4^2$ ).

Otro de los descubrimientos que se le reconocen es el de la tensión recta, la teoría de Coulomb es aplicable a ejes de transmisión de potencia macizos o huecos, debido a la simetría circular de la sección no pueden existir alabeos diferenciales sobre la sección. De acuerdo con la teoría de Coulomb la torsión genera una tensión cortante el cual se calcula mediante la fórmula:

$$\tau_p = \frac{T}{J} \rho$$

Donde:

- ❖  $\tau_p$  es el esfuerzo cortante a la distancia  $\rho$
- ❖  $T$  es el momento torsor total que actúa sobre la sección
- ❖  $P$  es la distancia desde el centro geométrico de la sección hasta el punto donde se está calculando la tensión cortante
- ❖  $J$  es el módulo de torsión

Esta ecuación se asienta en la hipótesis cinemática de Coulomb sobre cómo se deforma una pieza prismática con simetría de revolución, es decir, es una teoría aplicable sólo a elementos sección circular o circular hueca. Para piezas con sección de ese tipo se admite que la deformación viene dada por unos desplazamientos del tipo:

$$\begin{aligned} u_x(x, y, z) &= 0 \\ u_y(x, y, z) &= -\alpha(x)z \\ u_z(x, y, z) &= +\alpha(x)y \end{aligned}$$

El tensor de deformaciones para una pieza torsionada como la anterior se obtiene derivando adecuadamente las anteriores componentes del vector de desplazamiento y a partir de estas componentes del tensor de deformaciones usando las ecuaciones de Lamé-Hooke llevan a que el tensor tensión viene dado por:

$$T_{\text{tor}} = \frac{G}{2} \begin{bmatrix} 0 & -\alpha'_x z & +\alpha'_x y \\ -\alpha'_x z & 0 & 0 \\ +\alpha'_x y & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

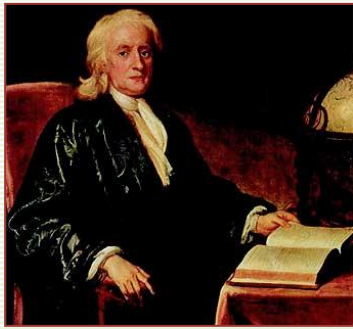
Usando las ecuaciones de equivalencia se llega a la relación existente entre la función  $\alpha$  y el momento torsor:

$$\begin{aligned} M_{\text{tor}} &= \int_{\Sigma} (-\tau_{xy}z + \tau_{xz}y) dydz = \\ &= \frac{\alpha'_x G}{2} \int_{\Sigma} (z^2 + y^2) dydz = \frac{\alpha'_x G}{2} I_0 \end{aligned}$$

Donde

$$I_0 = I_y + I_z$$

es el momento de inercia polar que es la suma de los segundos momentos de área.



Isaac Newton de Enoch Seeman

Comparación entre la Ley de Coulomb y la Ley de la Gravitación Universal

Esta comparación es relevante ya que ambas leyes dictan el comportamiento de dos de las fuerzas fundamentales de la naturaleza mediante expresiones matemáticas cuya similitud es notoria.

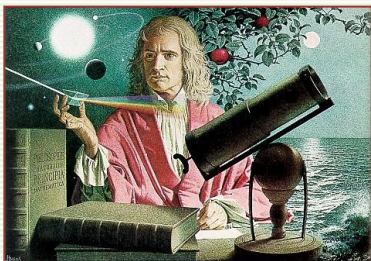
La ley de la gravitación universal establece que la fuerza de atracción entre dos masas es directamente proporcional al producto de las mismas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Expresándolo matemáticamente:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Siendo:

- ❖  $F$  la fuerza de atracción, en Newton
- ❖  $G$  la constante de gravitación universal  $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{Kg}$
- ❖  $m_1 m_2$  las masas de los cuerpos, en Kilogramos
- ❖  $r$  la distancia entre los centros de las masas

A pesar del chocante parecido en las expresiones de ambas leyes se encuentran dos diferencias importantes. La primera es que en el caso de la gravedad no se han podido observar masas de diferente signo como sucede en el caso de las cargas eléctricas, y la fuerza entre masas siempre es atractiva. La segunda tiene que ver con los órdenes de magnitud de la fuerza de gravedad y de la fuerza eléctrica.



Sir Isaac Newton

En consecuencia, la fuerza de interacción entre dos cargas puntuales, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia:

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

Asociando ambas relaciones:

$$F \propto \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Finalmente, se introduce una constante de proporcionalidad para transformar la relación anterior en una igualdad:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Donde:

- $F$  es la fuerza de atracción o repulsión de cargas, en Newtons
- $q_1$  y  $q_2$  son las cargas eléctricas de las partículas, en Culombios
- $r$  es la distancia más corta entre las dos cargas, en Metros
- $\epsilon_0$  es la constante de permitividad eléctrica del medio en el cual se encuentran inmersas las cargas  $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$

Cuando se conoce la densidad de carga del elemento de estudio, se emplea:

$$\lambda = \frac{dq}{dx}$$

Donde:

- $\lambda$  es la densidad lineal de carga, en Culombios/m
- $dq$  es el diferencial de carga, en Culombios
- $dx$  es el diferencial de longitud, en Metros

Si es una superficie lo que se estudia, se emplea:

$$\sigma = \frac{dq}{dA}$$

Donde:

- $\sigma$  es la densidad superficial de carga, en Culombios/ $m^2$
- $dq$  es el diferencial de carga, en Culombios
- $dA$  es el diferencial de área, en  $m^2$

Si es un volumen lo que se analiza, se emplea:

$$\rho = \frac{dq}{dV}$$

Donde:

- $\rho$  es la densidad volumétrica de carga, en Culombios/ $m^3$
- $dq$  es el diferencial de carga, en Culombios
- $dV$  es el diferencial de volumen, en  $m^3$

Por último, es de vital importancia conocer las siguientes constantes y conversiones:

- Masa del electrón  $9,11 \cdot 10^{-28}$  g
- Carga del electrón  $-1,6 \cdot 10^{-19}$  C
- Masa del protón  $1,67 \cdot 10^{-24}$  g
- Carga del protón  $+1,6 \cdot 10^{-19}$  C

### Campo eléctrico

Un campo eléctrico es una región del espacio donde se ponen de manifiesto los fenómenos eléctricos. Se representa por  $E$  y es de naturaleza vectorial. En el Sistema Internacional de unidades el campo eléctrico se mide en Newton/Culombio (N/C).

La región del espacio situada en las proximidades de un cuerpo cargado posee unas propiedades especiales. Si se coloca en cualquier punto de dicha región una carga eléctrica de prueba, se observa que se encuentra sometida a la

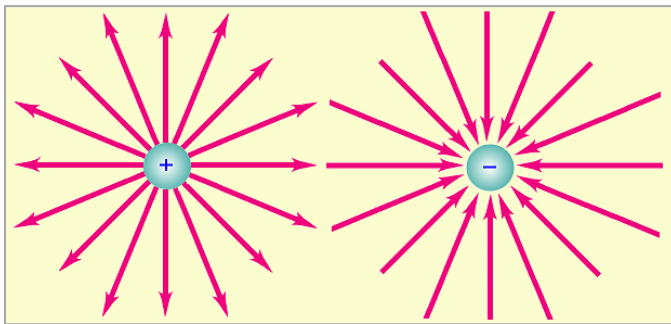
acción de una fuerza. Este hecho se expresa diciendo que el cuerpo cargado ha creado un campo eléctrico. La intensidad de campo eléctrico en un punto se define como la fuerza que actúa sobre la unidad de carga situada en él. Si  $E$  es la intensidad de campo, sobre una carga  $q$  actuará una fuerza  $F$ :

$$E = \frac{F}{q}$$

Donde:

- $E$  es la magnitud del campo eléctrico puntual, en Newton/Culombio
- $q$  es la carga de prueba
- $F$  es la fuerza eléctrica generada por el campo, en Newton

La dirección del campo eléctrico en cualquier punto viene dada por la de la fuerza que actúa sobre una carga positiva unidad colocada en dicho punto. Las líneas de fuerza en un campo eléctrico están trazadas de modo que son, en todos sus puntos, tangentes a la dirección del campo, y su sentido positivo se considera que es el que partiendo de las cargas positivas termina en las negativas



Líneas de fuerzas en cargas puntuales

La intensidad de un campo eléctrico creado por varias cargas se obtiene sumando vectorialmente las intensidades de los campos creados por cada carga de forma individual. En el caso de realizar análisis en distribución continua de carga, se utilizará la siguiente expresión:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r^2}$$

Las leyes de Coulomb fueron presentando ciertas limitaciones a lo largo de la historia como son:

- La expresión matemática solo es aplicable a cargas puntuales estacionarias, y para casos estáticos más complicados de carga necesita ser generalizada mediante el potencial eléctrico.
- Cuando las cargas eléctricas están en movimiento es necesario reemplazar incluso el potencial de Coulomb por el potencial vector de Liénard-Wiechert, especialmente si las velocidades de las partículas son grandes comparadas con la velocidad de la luz.
- Para distancias pequeñas (del orden del tamaño de los átomos), la fuerza electrostática se ve superada por otras, como la nuclear fuerte, o la nuclear débil.

## Potencial de Coulomb

La ley de Coulomb establece que la presencia de una carga puntual general induce en todo el espacio la aparición de un campo de fuerzas que decae según la ley de la inversa del cuadrado. Para modelizar el campo debido a varias cargas eléctricas puntuales estáticas puede usarse el principio de superposición dada la aditividad de las fuerzas sobre una partícula. Sin embargo, matemáticamente el manejo de expresiones vectoriales de ese tipo puede llegar a ser complicado, por lo que frecuentemente resulta más sencillo definir un potencial eléctrico. Para ello a una carga puntual  $q_1$  se le asigna una función escalar o potencial de Coulomb  $\phi_1$  tal que la fuerza dada por la ley de Coulomb sea expresable como:

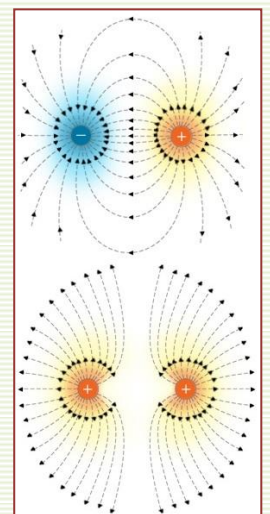
$$F_{12} = Q_2 \nabla \phi_1$$

De la ley de Coulomb se deduce que la función escalar que satisface la anterior ecuación es:

$$\phi_1(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{\|r - r_{q1}\|}$$

Donde:

- ❖  $r$  es el vector posición genérico de un punto donde se pretende definir el potencial de Coulomb
- ❖  $r_{q1}$  es el vector de posición de la carga eléctrica  $q_1$  cuyo campo pretende caracterizarse por medio del potencial





### Luigi Galvani 1727 † 1798

Médico, fisiólogo, físico italiano y amigo de Volta; sus estudios le permitieron descifrar la naturaleza eléctrica del impulso nervioso. A partir aproximadamente de 1780, Galvani comenzó a incluir en sus conferencias pequeños experimentos prácticos que demostraban a los estudiantes la naturaleza y propiedades de la electricidad.

Las cuestiones que Volta le formulaba le hicieron darse cuenta de lo mucho que quedaba por hacer. La principal traba a su explicación era el desconocimiento de los motivos por los que el músculo se contraía al recibir electricidad.

El fisiólogo llamó a esta forma de producir energía "bioelectrogénesis". A través de numerosos y espectaculares experimentos llegó a la conclusión de que la electricidad necesaria era generada en el interior del organismo vivo, que, una vez muerto, seguía conservando la capacidad de conducir el impulso y reaccionar a él consecuentemente. Pensó correctamente que la electricidad biológica no era diferente de la producida por otros fenómenos naturales y dedujo con acierto que el órgano encargado de generar la electricidad era el cerebro. Demostró asimismo que los "cables" que el cerebro utilizaba para canalizar la energía hasta el músculo eran los nervios.

Los estudios de Luigi Galvani inauguraron una ciencia entera que no existía hasta ese momento, la neurofisiología.

Galvani conservó su sillón de profesor titular de la Cátedra de Anatomía en su universidad durante 35 años (1762-1797). En poco tiempo, su enorme capacidad para la cirugía le valió también el nombramiento como jefe de obstetricia del Instituto de Ciencias, además, nombrado director en 1772.

Sin embargo, cuando todos los profesores universitarios fueron "invitados" a firmar un juramento de lealtad al emperador Napoleón Bonaparte durante la época de la invasión de éste a Italia, con enorme integridad y nacionalismo, Galvani se negó a hacerlo y fue inmediatamente despedido de todos sus cargos. Murió menos de un año más tarde.

### Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta. Como, 18 de febrero de 1745 † 5 de marzo de 1827.

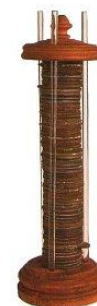
Fue un físico italiano, famoso principalmente por haber desarrollado la pila eléctrica en 1800.

La unidad de fuerza electromotriz del Sistema Internacional de Unidades lleva el nombre de voltio en su honor desde el año 1881. En 1964 la UAI decidió en su honor llamarle Volta a un astroblema lunar.



Recibió una educación básica y media de características humanista, pero al llegar a la enseñanza superior optó por una formación científica.

En el año 1774, es nombrado profesor de física de la Escuela Real de Como. Justamente, un año después Volta realiza su primer invento: un aparato relacionado con la electricidad. Con dos discos metálicos, separados por un conductor húmedo, pero unidos con un circuito exterior logra, por primera vez, producir corriente eléctrica continua, inventa el electróforo perpetuo, un dispositivo que una vez que se encuentra cargado puede transferir electricidad a otros objetos.



Entre los años 1776 y 1778 se dedica a la química, descubre y aísla el gas de metano. Un año más tarde, en 1779, es nombrado profesor titular de la cátedra de física experimental en la Universidad de Pavia.

La pila de volta, consta de treinta discos de metal separados por paños húmedos. Durante la primera parte del siglo XIX, eran construidas como fuentes proveedoras de corriente continua.

En el año 1801, viaja a París aceptando una invitación de Napoleón para que exponga las características de su invento en el Instituto Nacional de Ciencias de Francia. El propio Bonaparte participó con entusiasmo en las correspondientes exposiciones y recomendó para Volta los máximos honores para él. El 2 de noviembre del mismo año, la comisión de científicos distinguidos por el Instituto Nacional de Ciencias para evaluar el invento de Volta, emitió el informe correspondiente aseverando su validez y recomendando para Volta la más alta distinción de la institución, la medalla de oro al mérito científico.

Volta fue objeto de amplio reconocimiento en toda Europa: En 1805, el emperador Napoleón Bonaparte le asigna una pensión anual y lo nombra Caballero de la Legión de Honor. En 1806 llega a ser Caballero de la Real Orden Italiana de la Corona de Hierro. En 1809, senador de Lombardía, y en 1810, conde de Lombardía.



Napoleón Bonaparte

Tras la caída del régimen napoleónico y la consiguiente restauración austríaca, el Gobierno Imperial de Viena en 1815 le nombra director de la Facultad de Filosofía de la Universidad de Padua. En 1819 Volta abandona la vida pública y se retira a su ciudad natal. Los últimos años de vida los pasó en su hacienda en Camnago, cerca de Como, donde después de una corta enfermedad, fallece el 5 de marzo 1827 a la edad de 82 años.



**Félix Savart. Mézières 30 de junio de 1791 †16 de marzo de 1841 en París Francia.**

Fue un físico, médico y profesor francés. Entre 1808 y 1810 estudió en un hospital en Metz. Luego trabajó como cirujano en un regimiento de Napoleón. En 1814 fue dado de baja y se dirigió a Estrasburgo a terminar sus estudios de medicina.

En 1817 retornó a Metz, donde además de trabajar como médico, estudió física por su cuenta y armó un laboratorio de física en su casa. Comenzó a construir instrumentos musicales de cuerda con formas innovadoras, siguiendo leyes matemáticas.

Viajó a París en 1819, con la idea de conseguir publicar su traducción (del latín al francés) del texto *De medicina*, de Celso (siglo I), uno de los escritores romanos más importantes, traducción que nunca vería la luz. En París conoció a Jean Baptiste Biot (1774-1862), con quien discutió acerca de la acústica de los instrumentos musicales, y a quien presentó su violín trapezoidal.



Aulus Cornelius Celsus

Junto con Biot estudió el campo magnético creado por una corriente eléctrica, enunciando la Ley de Biot-Savart en 1820. Juntos publicaron una *Note sur le magnétisme de la pile de Volta en los Annales de Chemie et de Physique*.

Savart se especializó en el estudio de la acústica, y hacia 1830 inventó la llamada «rueda dentada de Savart», un instrumento que sirve para medir la frecuencia de un sonido. También inventó un sonómetro y un polariscopio.

El 5 de noviembre de 1827, Savart fue elegido para enseñar física en la Academia de Ciencias para reemplazar a Fresnel, que había fallecido en julio de 1827. Desde 1828, enseñó en el Collège de France, y desde 1836 fue profesor de física experimental, reemplazando a Ampère continuando en este puesto hasta su muerte.

**Ley de Biot-Savart**

La ley de Biot-Savart indica el campo magnético creado por corrientes eléctricas estacionarias. En el caso de las corrientes que circulan por circuitos filiformes, la contribución de un elemento infinitesimal de longitud  $d\vec{l}$  del circuito recorrido por una corriente  $I$  crea una contribución elemental de campo magnético,  $d\vec{B}$ , en el punto situado en la posición que apunta el vector  $\vec{U}r$  a una distancia  $r$  respecto de  $d\vec{l}$ , quien apunta en dirección a la corriente  $I$ :

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

Donde  $\mu_0$  es la permeabilidad magnética del vacío, y  $\hat{r}$  es un vector unitario.

En el caso de corrientes distribuidas en volúmenes, la contribución de cada elemento de volumen de la distribución, viene dado por

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\vec{J} \times \vec{R}}{r^3}$$

donde  $\vec{J}$  es la densidad de corriente en el elemento de volumen  $dv$  y  $\vec{R}$  es la posición relativa del punto

en el que queremos calcular el campo, respecto del elemento de volumen en cuestión.

En ambos casos, el campo final resulta de aplicar el principio de superposición a través de la expresión

$$\vec{B} = \int d\vec{B}$$

La integral se extiende a todo el recinto.

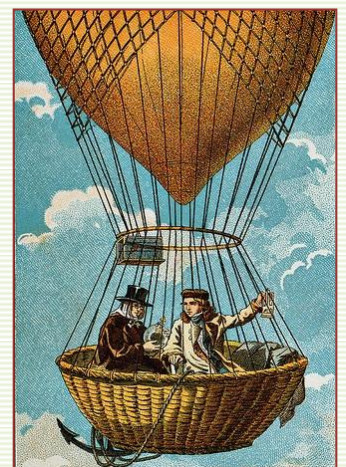


**Jean-Baptiste Biot. 1774 † 1862**

Físico, astrónomo y matemático francés. Profesor de física en el Collège de France en 1800, fue elegido miembro de la Academia de Ciencias a la edad de 29 años.

Gracias a su colaboración con el físico Félix Savart elaboró la Ley de Biot-Savart que describe cómo se genera un campo magnético mediante una corriente eléctrica estacionaria. En 1804 elaboró un globo y ascendió con Joseph Gay-Lussac. La magnitud adimensional en termodinámica se conoce como número de Biott. En honor a sus descubrimientos, Biott es una de las personas que posee el honor de tener su nombre en un cráter de la Luna.

En 1817 continuó en España los trabajos de Méchain para medir el arco del meridiano. Biot es conocido, sobre todo, por sus estudios sobre la rotación del plano de la luz polarizada a medida que ésta se transmite por una solución líquida. Fue el primero en utilizar el polarímetro para determinar la naturaleza y la cantidad de azúcares en una solución.



Gay-Lussac y Biot en su viaje en globo



### Sir Humphry Davy 1778 † 1829

Químico británico. Se le considera uno de los fundadores de la electroquímica. Contribuyó a identificar por primera vez varios elementos químicos mediante la electrólisis, y estudió la energía involucrada en el proceso.

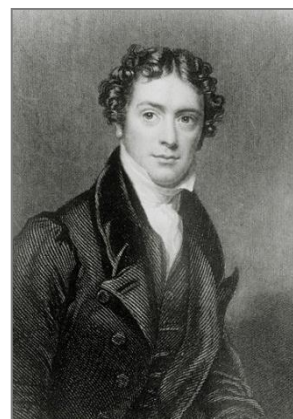
Entre 1806 y 1808 publica el resultado de sus investigaciones sobre la electrólisis, donde logra la separación del Magnesio, Bario, Estroncio, Calcio, Sodio, Potasio y Boro. En 1807 fabrica una pila con más de 2000 placas doble, con la cual descubre el Cloro. En 1805 gana la Medalla Copley. En 1815 inventa una lámpara de seguridad que llevó su nombre para las minas y fue pionero en el control de la corrosión mediante la protección catódica.

Hijo de un escultor de madera se había procurado una educación autodidacta. Cuando tenía diecinueve años, leyó el "Tratado elemental" de Lavoisier y eso le condujo a amar la química durante toda su vida. En 1800, Benjamin Thompson funda la Institución Real en la cual trabajaría Davy como conferenciante desde los veintitrés años y donde alcanzó todo su reconocimiento. Era tal la expectación que despertaban sus conferencias, que provocaban problemas de tráfico en la calle. Lo atractivo de sus actuaciones públicas se refleja en el comentario de una dama de alta cuna: "Esos ojos están hechos para algo más que para escudriñar crisoles".

La sociedad londinense entró en un frenesí de adoración al héroe. El entusiasmo por sus conferencias era tal, que las entradas eran vendidas por más de 20 libras, más de 1400 euros hoy día. Acabó sus días rico y famoso, presidiendo la Royal Society, y considerado como un tesoro nacional. Sólo una cosa estropeaba su felicidad: los celos contra Faraday del que fue jefe y mentor además de ser su mayor descubrimiento, según sus propias palabras.

### Michael Faraday. Londres, Newington, 22 de septiembre de 1791 † Londres, 25 de agosto de 1867

Fue un físico y químico británico que estudió el electromagnetismo y la electroquímica. Discípulo del químico Humphry Davy, fue conocido principalmente por su descubrimiento de la inducción electromagnética, que ha permitido la construcción de generadores y motores eléctricos, y de las leyes de la electrólisis, por lo que es considerado como el verdadero fundador del electromagnetismo y de la electroquímica.



Recibió escasa formación académica, entrando a los 13 años a trabajar de aprendiz con un encuadernador de Londres. Durante los 15 años que pasó allí leyó libros de temas científicos y realizó experimentos en el campo de la electricidad, desarrollando un agudo interés por la ciencia que ya no le abandonó. A pesar de ello prácticamente no sabía matemáticas, desconocía el cálculo diferencial pero en contrapartida tenía una habilidad innata para trazar gráficos y diseñar experimentos.

En 1831 trazó el campo magnético alrededor de un conductor por el que circula una corriente eléctrica (ya descubierto por Oersted), y ese mismo año descubrió la inducción electromagnética, demostró la inducción de una corriente eléctrica por otra, e introdujo el concepto de líneas de fuerza, para representar los campos magnéticos.

Con sus investigaciones se dio un paso fundamental en el desarrollo de la electricidad al establecer que el magnetismo produce electricidad a través del movimiento.

### Campo magnético

El campo magnético es una región de espacio en la cual una carga eléctrica puntual de valor  $q$ , que se desplaza a una velocidad  $v$ , sufre los efectos de una fuerza que es perpendicular y proporcional tanto a la velocidad  $v$  como al campo  $B$ . Así, dicha carga percibirá una fuerza descrita con la siguiente igualdad.

$$F = qv \times B$$

donde  $F$  es la fuerza,  $v$  es la velocidad y  $B$  el campo magnético, también llamado inducción magnética o densidad de flujo magnético. El módulo de la fuerza resultante será

$$|F| = q|v||B| \cdot \sin \theta$$

### Ley de inducción electromagnética de Faraday

Establece que el voltaje inducido en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera con el circuito como borde.

donde  $\vec{E}$  es el campo eléctrico,  $d\vec{l}$  es el elemento infinitesimal del contorno  $C$ , de  $d\vec{A}$  están dadas por la regla de la mano derecha.

$\vec{B}$  es la densidad de campo magnético y  $S$  es una superficie arbitraria, cuyo borde es  $C$ . Las direcciones del contorno  $C$  y

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

La permutación de la integral de superficie y la derivada temporal se puede hacer siempre y cuando la superficie de integración no cambie con el tiempo.

Por medio del teorema de Stokes puede obtenerse una forma diferencial de esta ley:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$



## Compilación de leyes y otras síntesis

### 1. Ley de Gauss de forma diferencial

Tomando la ley de Gauss en forma integral

$$\oint_{\partial V} \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV$$

Aplicando al primer término el teorema de Gauss de la divergencia queda

$$\int_V (\nabla \cdot \vec{E}) dV = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV$$

Como ambos lados de la igualdad poseen diferenciales volumétricas, y esta expresión debe ser cierta para cualquier volumen, solo puede ser que:

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Que es la forma diferencial de la Ley de Gauss (en el vacío). Esta ley se puede generalizar cuando hay un dieléctrico presente, introduciendo el campo de desplazamiento eléctrico  $\vec{D}$ . De esta manera la Ley de Gauss se puede escribir en su forma más general como

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

Finalmente es de esta forma en que la ley de Gauss es realmente útil para resolver problemas complejos de maneras relativamente sencillas.

### 2. Leyes de Kirchhoff

#### 2.1. Ley de nodos

En cualquier nodo, la suma de la corriente que entra en ese nodo es igual a la suma de la corriente que sale. De igual forma, la suma algebraica de todas las corrientes que pasan por el nodo es igual a cero

$$\sum_{k=1}^n I_k = I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0$$

La ley se basa en el principio de la conservación de la carga donde la carga en coulombs es el producto de la corriente en amperios y el tiempo en segundos.

#### 2.2. Ley de lazos

En toda malla la suma de todas las caídas de tensión es igual a la tensión total suministrada. De forma equivalente. En toda malla la suma algebraica de las diferencias de potencial eléctrico es igual a 0.

$$\sum_{k=1}^n V_k = V_1 + V_2 + \dots + V_n = 0$$

### 3. Ley de Ampère generalizada

La ley de Ampère nos dice que la circulación en un campo magnético  $\vec{B}$  a lo largo de una curva cerrada C es igual a la densidad de corriente  $\vec{j}$  sobre la superficie encerrada en la curva C, matemáticamente así:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

donde  $\mu_0$  es la permeabilidad magnética en el vacío.

Pero cuando esta relación se la considera con campos que sí varían a través del tiempo llega a cálculos erróneos, como el de violar la conservación de la carga. Maxwell corrigió esta ecuación para lograr adaptarla a campos no estacionarios. Maxwell reformuló esta ley así:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

En el caso específico estacionario esta relación corresponde a la ley de Ampère, además confirma que un campo eléctrico que varía con el tiempo produce un campo magnético y además es consecuente con el principio de conservación de la carga.

## Epílogo

Me he sumergido a través de los siglos en la historia, con sus luchas, sus impedimentos, sus pasiones y sus guerras, en un mundo de reyes, mecenas, de inquisidores, de palacios, laboratorios, amantes, esposas, hijos, prohombres, políticos, químicos, teólogos... Y todos en busca de algo; el saber, el poder o la gloria, para ser recordados en los anales de la historia, para que sus nombres resuenen por los siglos de los siglos mientras en alguien permanezca su recuerdo e historia.

Este trabajo ha ido mucho más allá de la física, se ha sumergido en un paraíso de anécdotas, de pasados inciertos... En definitiva pocas cosas pueden ser equiparables a tan bella experiencia.

Si bien, hoy después de este conocimiento que ha enriquecido mi filosofía, mi conocimiento sobre la religión, la historia y la música, y por supuesto las bellas artes, recuerdo unas palabras de una profesora mía, que decían así:

“¿Y para qué te sirve a ti estando en ciencias la historia, la filosofía, la religión y la música?”

La pregunta era más difícil de lo que en un principio parecía, pero hoy tengo la suficiente madurez para contestar, y diré así:

“Aquel científico que no haya abrazado las bellas artes aún le queda media vida por vivir; En cuanto a la historia, nos servirá para no cometer los errores de nuestros padres y antepasados; la filosofía, nos ayudará a afrontar la vida con rectitud y sabiduría para no equivocarnos de camino; la religión, para liberarnos del miedo que nos atrapa, asumir que el perdón ha de ser una constante en nuestra vida y saber que no estamos solos; y la música, para entonar en lo profundo del alma el amor y la pasión por nuestro mundo y todo lo que en ello contiene y anida. En nuestra mano está la elección de nuestro destino...”

## Referencias

- <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/153763/On-the-Magnet-Magnetic-Bodies-and-the-Great-Magnet-of-the-Earth>
- <http://www.leeds.ac.uk/library/adopt-a-book/gilbert.htm>
- <http://www.biografica.info/mobile/do-form.php?q=i>
- <http://www.editorialjuventud.es/3584-1.html>
- <http://www.ssplprints.com/image/89349/unattributed-william-gilbert-english-physician-late-16th-century>
- <http://grandesdelrenacimiento.blogspot.com/2011/05/yo-soy-isabel-i-de-inglaterra-porrachel.html>
- <http://www-istp.gsfc.nasa.gov/Education/wterrell.html>
- <http://www.hp-gramatke.net/perpetuum/english/page0220.htm>
- <http://www.vanleestantiques.com/index.php>
- <http://vidasfamosas.com/author/annabella/>
- <http://relacionentreelectricidadymagnetismo.blogspot.com/2011/04/iman-y-cuerpos-magneticos.html>
- <http://www.ushistory.org/franklin/autobiography/page38.htm>
- [http://www.pendulum.es/estudiolo/electricidad\\_magnetismo.html](http://www.pendulum.es/estudiolo/electricidad_magnetismo.html)
- <http://www.deborahread.com/>
- <http://fi.edu/franklin/family/deborah.html>
- [http://library.thinkquest.org/C006011/english/sites/guericke\\_bio.php3?f=2&b=50&j=1&v=0](http://library.thinkquest.org/C006011/english/sites/guericke_bio.php3?f=2&b=50&j=1&v=0)
- <http://www.artehistoria.jcyl.es/historia/personajes/6144.htm>
- <http://www.electricidaddelhogar.com/un-poco-de-historia/francois-de-cisternay-du-fay/>
- [http://www.fq.uh.cu/dpto/qi/pag/ino2/Grupo\\_12/priestley.htm](http://www.fq.uh.cu/dpto/qi/pag/ino2/Grupo_12/priestley.htm)
- <http://buscabiografias.com/cgi-bin/verbio.cgi?id=6472>
- <http://www.reprodart.com/a/english-school/portrait-of-joseph-priest.html>
- <http://museovirtual.csic.es/salas/magnetismo/biografias/coulomb.htm>
- <http://bacterio.uc3m.es/docencia/profesores/antonio/biog/coulomb.htm>
- <http://www.monografias.com/trabajos34/electrostatica/electrostatica.shtml#ley>
- <http://www.astromia.com/astronomia/gravita.htm>
- [http://e-ciencia.com/recursos/enciclopedia/Campo\\_electrost%C3%A1tico](http://e-ciencia.com/recursos/enciclopedia/Campo_electrost%C3%A1tico)
- <http://www.baroque-in-art.org/Portrait-of-Sir-Isaac-Newton-1646-1727-1726.html>
- <http://www.corrosion-doctors.org/Biographies/GalvaniBio.htm>
- <http://museovirtual.csic.es/salas/magnetismo/biografias/volta.htm>
- [http://www.bbc.co.uk/history/historic\\_figures/davy\\_humphrey.shtml](http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/davy_humphrey.shtml)
- <http://www.biografica.info/biografia-de-davy-sir-humphry-666>
- <http://bacterio.uc3m.es/docencia/profesores/antonio/biog/faraday.htm>
- [http://www.jpimentel.com/ciencias\\_experimentales/pagwebciencias/pagweb/Los\\_talleres\\_de\\_ciencias/electricidad\\_y\\_magnetismo/electrostatica\\_jaula\\_faraday.htm](http://www.jpimentel.com/ciencias_experimentales/pagwebciencias/pagweb/Los_talleres_de_ciencias/electricidad_y_magnetismo/electrostatica_jaula_faraday.htm)
- <http://www.xtimeline.com/evt/view.aspx?id=453540>
- [http://www.alipso.com/monografias/2509\\_biot/](http://www.alipso.com/monografias/2509_biot/)
- <http://www.nndb.com/people/895/000100595/>
- <http://www.flickr.com/photos/trialsanderrors/2633343523/>
- <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Savart.html>