

# La electricidad

## La energía eléctrica

Entre los cuerpos se produce cierto tipo de interacción —tanto de atracción como de repulsión— gobernada por la llamada fuerza eléctrica, una de las fuerzas fundamentales de la naturaleza, que se halla íntimamente relacionada con la materia que forma a los cuerpos. En otras palabras, la fuerza eléctrica se encuentra en los átomos (participa de su estructura) y en las moléculas (es responsable de su formación), y es la encargada de una de las manifestaciones de la energía: la energía eléctrica.

## Breve historia de la investigación electrostática

Aunque los fenómenos eléctricos eran conocidos desde la Antigüedad, fue a partir del siglo XVIII cuando los científicos comenzaron a entenderlos realmente. Desde entonces, la energía eléctrica empezó a ser utilizada, transformada y transportada, cada vez en mayor medida, hasta llegar a convertirse en la energía responsable de múltiples aplicaciones cotidianas.

La palabra *electricidad*, tan usada en la actualidad, tiene su origen en el nombre que daban los antiguos griegos al ámbar, una resina fósil, de textura semejante al plástico, que muestra una singular capacidad. En efecto, luego de frotar una porción de ámbar con un paño, este material tiene la propiedad de atraer pequeños cuerpos colocados cerca de él, como trozos de papel, por ejemplo.

Esa cualidad del ámbar fue señalada por el filósofo griego Tales de Mileto (624-546 a.C.). La palabra que usaban los griegos para referirse al ámbar era *electrón*; por lo tanto, llamaban *electrizados* a los cuerpos que se comportaban como ese material. Mucho más adelante, a tal capacidad atractiva se la denominó *electricidad*.

Además, existen textos clásicos en los que figuran relatos legendarios acerca de otras sustancias que poseían propiedades semejantes. Por ejemplo, Teofrasto (372-288 a.C.) hablaba de la piedra *linguriona* que, según él, atraía paja y limaduras de hierro y de cobre. Plinio (23-79) mencionaba el *lignito* que, al ser calentado por el sol o frotado con los dedos, podía atraer hojas de papiro.

Por otra parte, existen numerosos registros que prueban que los antiguos ya conocían las propiedades de los peces eléctricos. En un texto romano del siglo I de nuestra era, se aconsejaba curar el dolor de cabeza exponiendo al paciente a la corriente eléctrica del pez torpedo (lo que constituye un ejemplo anticipado de la aplicación de la electroterapia).

Esto no significa, sin embargo, que los antiguos interpretaran esos fenómenos según la noción actual de electricidad; por el contrario, ellos pensaban que los objetos poseían un alma que se manifestaba de distintos modos, entre otros, a través de los fenómenos eléctricos.

En general, puede afirmarse que las representaciones acerca de la naturaleza de la electricidad fueron escasas e insuficientes, tanto en la Antigüedad como en toda la Edad Media.

A partir del siglo XVII, se inició la observación minuciosa de los fenómenos eléctricos y la construcción de los instrumentos que permitirían caracterizar y medir esos fenómenos.



Collar de cuentas de ámbar.



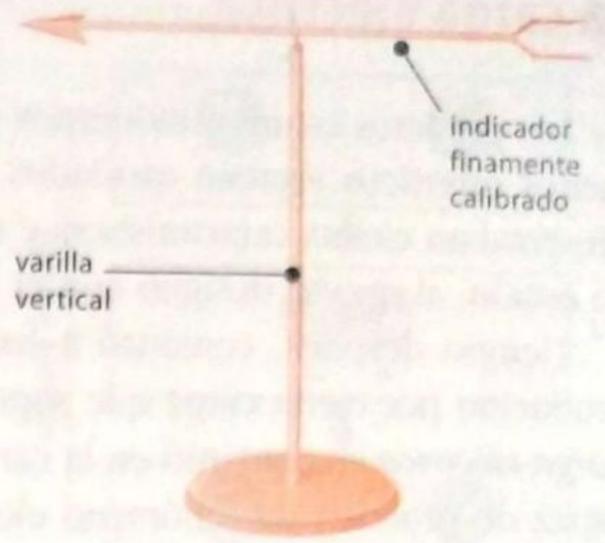
Las explicaciones antiguas sobre la electricidad pueden parecernos ingenuas. Sin embargo, no debemos olvidar que algunas de ellas eran audaces e, inclusive, estaban en contra de las tradicionales representaciones mitológicas. Por ejemplo, al plantear que un rayo no era una manifestación divina, sino la acción del viento que "rompía" las nubes, el filósofo griego Anaximandro (610-547 a.C.) intentó dar una explicación racional y convincente, desprovista de rasgos sobrenaturales.

En este sentido, se debe destacar la labor del británico William Gilbert (1544-1603), que realizó uno de los primeros estudios sistemáticos sobre la electrización; por esta razón, muchos historiadores de la ciencia lo consideran el fundador de la *Electrostática*.

No obstante sus esfuerzos, Gilbert pudo avanzar muy poco en la comprensión de la electricidad; recién un siglo después, se destacaron los experimentos realizados por el alemán Otto von Guericke (1602-1686) y el inglés John Wallis (1616-1703), quien, además, propuso una explicación del trueno y del relámpago que se aproxima mucho a la actual.

En 1729, se descubrió que la electricidad se propaga en los conductores, y apareció en escena un grupo de investigadores, cuyo aporte fue fundamental para la explicación de los fenómenos eléctricos. Entre ellos, se destacan:

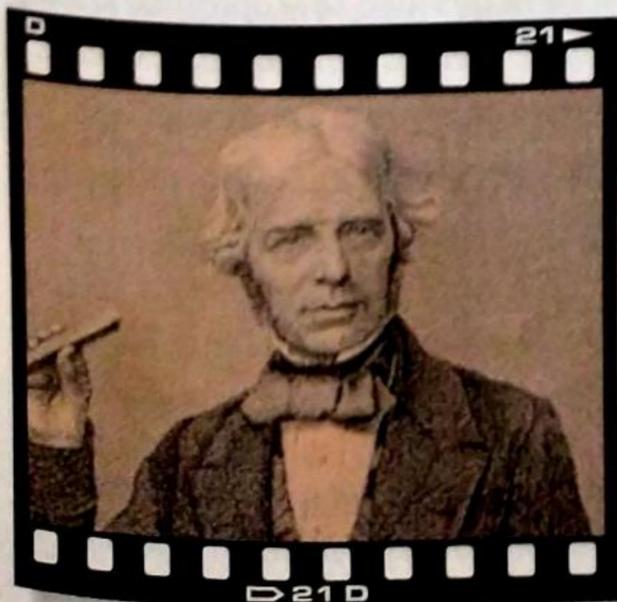
- Charles Du Fuy (francés, 1698-1739). Constató la existencia de dos tipos de fuerzas debidas a la electricidad: la atractiva y la repulsiva.
- Benjamin Franklin (estadounidense, 1706-1790). Explicó gran parte de los fenómenos eléctricos que se conocían en su época, mediante el desarrollo de una serie de experiencias. Inventó el pararrayos, como resultado de sus estudios sobre la electricidad atmosférica.
- Charles Coulomb (francés, 1736-1806). Consiguió demostrar que la fuerza eléctrica es inversamente proporcional al cuadrado de las distancias entre las cargas, independientemente de que sea de atracción o repulsión.
- John Canton (inglés, 1718-1772). Comprobó que un mismo cuerpo puede cargarse positiva o negativamente, según la naturaleza del material con que se lo frote y del grado de pulido de la superficie.
- Franz Aepinus (alemán, 1724-1802). Descubrió la polarización eléctrica y explicó el fenómeno de inducción señalado por primera vez por el físico ruso G.V. Rijman (1711-1753).
- Alessandro Volta (italiano, 1745-1827). Descubrió la electricidad de origen químico y construyó la primera pila eléctrica, es decir, la primera fuente de electricidad artificial; la pila de Volta contribuyó enormemente a hacer adelantar tanto la práctica como la teoría de los fenómenos eléctricos.
- Michael Faraday (británico, 1791-1867). Entre otras cosas, introdujo los conceptos de líneas de fuerza y estableció la relación entre carga inducida e inductora.
- James Clerk Maxwell (escocés, 1831-1879). Estudió los dieléctricos y demostró la naturaleza eléctrica de las ondas luminosas.
- William Thomson, lord Kelvin (irlandés, 1824-1907). Desarrolló una serie de instrumentos destinados a la investigación de los fenómenos eléctricos.



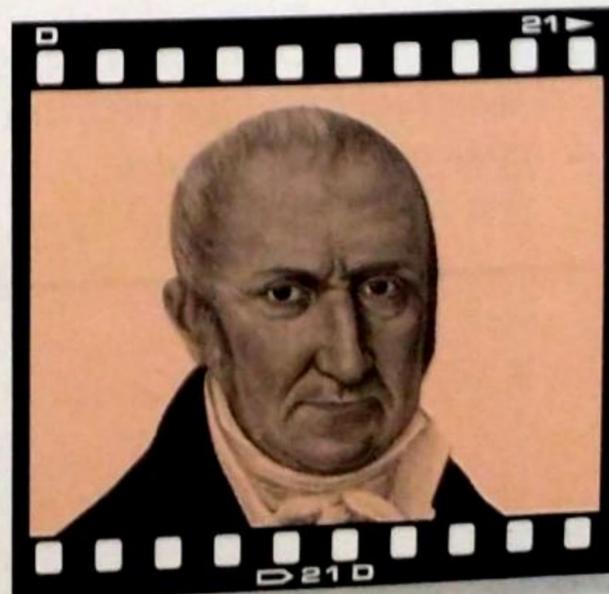
En el siglo XVI, William Gilbert creó el primer instrumento para detectar la presencia de electricidad; lo llamó **versorium**. Si se coloca el dispositivo ante un par de objetos, uno de ellos cargado eléctricamente, su indicador se dirige hacia el objeto electrificado.



El físico británico Francis Hauksbee (1666-1713), a partir de una idea del alemán Otto von Guericke, construyó la primera máquina electrostática. Como este instrumento permitía obtener grandes cantidades de electricidad, facilitó la realización de numerosas investigaciones sobre el tema.



Michael Faraday está considerado uno de los físicos experimentales más importantes de todas las épocas.



Alessandro Volta construyó una pila que permitía obtener electricidad a partir de transformaciones químicas.

## La carga eléctrica

Los primeros estudios modernos sobre el tema mostraban que los fenómenos eléctricos estaban asociados exclusivamente con los cuerpos que presentaban ciertas características y que interactuaban con otros en idéntico estado, al que se designó con el nombre de *estado eléctrico*.

Tiempo después, comenzó a hablarse de que el estado eléctrico era producido por cierta carga que soportaban esos cuerpos; así fue como la *carga eléctrica* se convirtió en la característica que diferenciaba un cuerpo capaz de producir un fenómeno eléctrico de otro que no había sido *cargado*. Con esta idea, los primeros investigadores se empeñaron en medir la carga eléctrica de un cuerpo, definir sus rasgos principales e intentar manipularla en diferentes experiencias.

Si embargo, para analizar los fenómenos eléctricos es preferible considerar que esas cargas forman parte de la sustancia que constituye los cuerpos y que definen su estado eléctrico. Fue por ese motivo que se convino en hablar de *cuerpos cargados eléctricamente*.

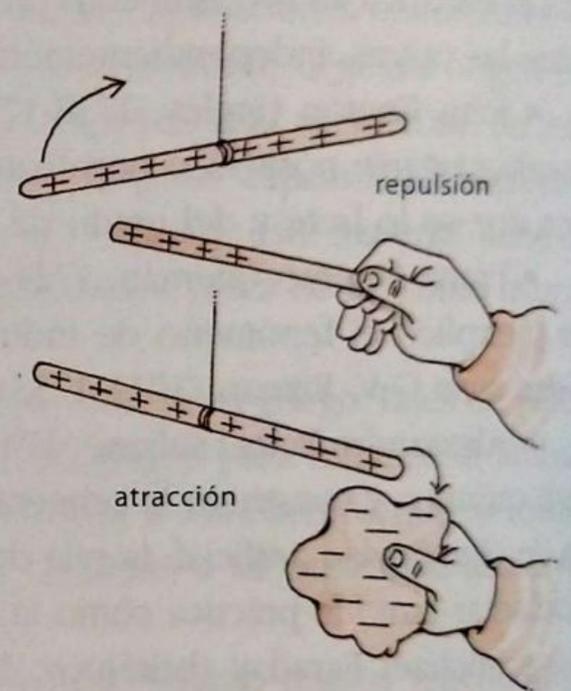
Dado que consideraban que la carga eléctrica se hallaba en estado de reposo en los cuerpos electrizados, los estudiosos de la época identificaron como *Electrostática* a la disciplina que daba cuenta de los fenómenos estudiados. Los resultados obtenidos en las primeras experiencias adquirieron rápidamente el carácter de *principios*.

### Primer Principio de la Electrostática

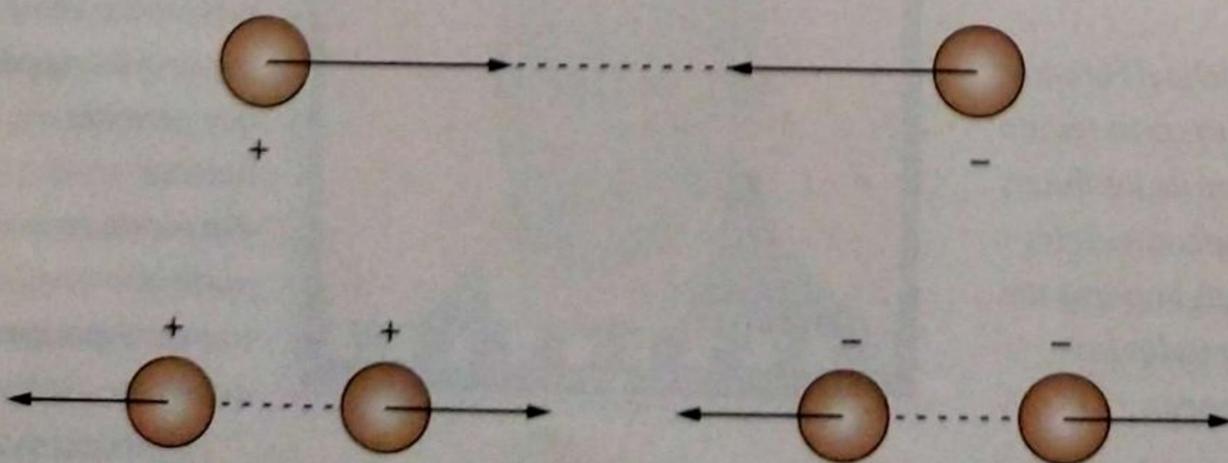
El francés Charles Du Fuy demostró que los fenómenos eléctricos pueden ser de atracción o de repulsión. Este hecho le sugirió la existencia de dos tipos de electricidad, a las que el norteamericano Franklin distinguió convencionalmente con los signos + y -. Para establecer esa convención, Franklin frotó una barra de vidrio con un trozo de seda. Como el vidrio adquiría propiedades eléctricas solo cuando se lo frotaba, sostuvo que con esa acción era *cargado* eléctricamente. Por ello, denominó *carga eléctrica* a la cantidad de electricidad que poseía un cuerpo; la carga eléctrica se simboliza con la letra **q**. Luego, Franklin decidió identificar como *carga positiva* (+) a la del vidrio y *carga negativa* (-) a la de la seda, y, a partir de su análisis, estableció lo siguiente:

- Todo cuerpo repelido por la barra de vidrio está cargado positivamente.
- Todo cuerpo que es atraído por la barra de vidrio tiene carga negativa.
- Análogamente, por su parte, la seda electrizada repele cargas negativas y atrae cargas positivas.

De este modo, se logró establecer el Primer Principio de la Electrostática, cuyo enunciado es el siguiente: *Las cargas eléctricas del mismo signo se repelen, y las cargas de signos opuestos se atraen.*



Una barra de vidrio, frotada previamente con seda, se cuelga de un hilo de modo que pueda moverse libremente. Al acercar otra barra igualmente cargada, la primera se apartará, por acción de una fuerza de repulsión. En cambio, si a la barra de vidrio se le aproxima la seda, ambos cuerpos tienden a aproximarse; es decir, se establece entre ellos una fuerza de atracción.



Las cargas de igual signo se repelen entre sí, independientemente de que ambas sean negativas o positivas. Si las cargas son de diferente signo, se atraen.

## Segundo Principio de la Electroestática

La carga eléctrica no puede ser creada ni destruida. Solo es posible transferirla desde un cuerpo hacia otro. En el ejemplo de la barra de vidrio frotada con un trozo de seda, inicialmente las dos sustancias (vidrio y seda) eran eléctricamente neutras; sin importar qué resultados se obtuvieron luego de la fricción, la carga eléctrica (en valor absoluto, es decir, sin tener en cuenta su signo) continúa igual en ambos materiales.

Esta idea, que se conoce también como *Principio de conservación de la carga eléctrica*, constituye uno de los conceptos más importantes de la Física; puede enunciarse de la siguiente forma: *En un sistema eléctricamente aislado, la suma algebraica de las cargas positivas y negativas es constante.*

En la figura, los cuerpos A y B están electrizados con una carga total  $q_A$  y  $q_B$ , respectivamente. Luego de permanecer en contacto, cada uno de esos cuerpos adquieren la carga  $q'_A$  y  $q'_B$  de tal modo que la carga total del sistema permanece constante:

$$q_A + q_B = q'_A + q'_B = \text{constante.}$$

## Los materiales y la conducción de la carga eléctrica

La electrización consiste en el pasaje de la carga eléctrica de unos cuerpos hacia otros. Pero los cuerpos están constituidos por diferentes materiales que conducen de diferente modo la carga eléctrica. Al estudiar la conducción de la carga eléctrica, pueden distinguirse distintos tipos de materiales:

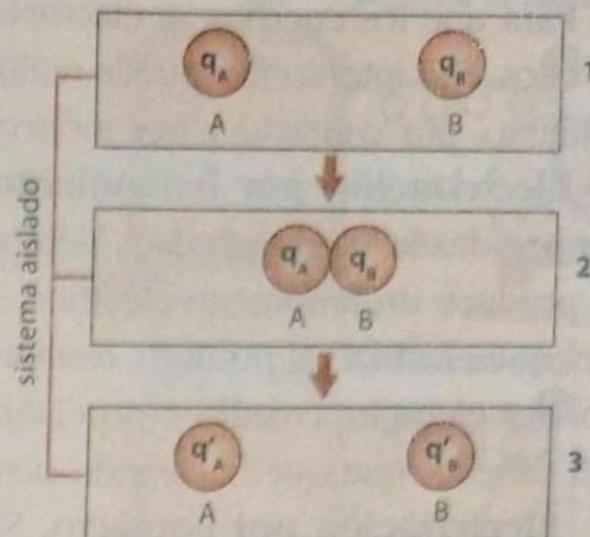
- **Aisladores.** Son materiales en los que la carga eléctrica no puede moverse. El estado eléctrico se produce y se manifiesta solo en cierto punto del material. Son aisladores, por ejemplo, el vidrio, el azufre, los plásticos, el lacre.

- **Conductores.** Son materiales en los que las cargas pueden moverse libremente, aunque se observa que tienden a ubicarse en la superficie de los cuerpos y no en su interior. Basta con frotar una parte del cuerpo para que su estado eléctrico se manifieste en toda la superficie. Son conductores, por ejemplo, los metales y las aleaciones, el cuerpo humano, la Tierra.

- **Semiconductores.** Antiguamente, a los materiales que no eran ni buenos conductores ni buenos aislantes (por ejemplo, la madera), se los conocía como *semiconductores*. Actualmente, tal denominación se usa solo para ciertos elementos (como el germanio y el silicio) que se utilizan en la industria electrónica para fabricar, por ejemplo, transistores.

- **Superconductores.** A muy bajas temperaturas, los electrones de ciertos materiales se pueden mover incesantemente, lo que favorece mucho la transmisión de la electricidad. Estos materiales se denominan *superconductores*.

Cabe señalar que la distinción entre conductores y aisladores es relativa y depende de la aplicación en que se utilizan esos materiales. Si se toca un cuerpo cargado con un bastón de madera, se observa que se descarga, pero mucho más lentamente que si se lo tocara con una varilla de metal, y mucho más rápidamente que si el bastón hubiese sido de vidrio. Por lo tanto, se dice que la madera conduce mejor la electricidad que el vidrio, pero peor que los metales; en otras palabras, la resistencia que opone la madera al paso de la electricidad es superior a la resistencia opuesta por los metales e inferior a la del vidrio. Por este motivo, actualmente se considera más conveniente hablar de *buenos* y *malos conductores* de la electricidad, ya que es difícil hallar un aislador absoluto.



Esquema del principio de conservación de la carga eléctrica.

1. El cuerpo A se aproxima al B.
2. Se realiza un intercambio de cargas entre los cuerpos.
3. Se muestran los cuerpos con su nuevo estado eléctrico, caracterizado por las cargas  $q'_A$  y  $q'_B$ .



El estado eléctrico que alcanzan los gases en el interior de un tubo fluorescente los transforma en muy buenos conductores de la electricidad.

## Cómo se electrizan los cuerpos

Para que los cuerpos se electricen debe producirse una interacción entre ellos. Esa interacción puede realizarse de tres formas diferentes: por frotamiento, por contacto y por inducción.

**Electrización por frotamiento.** La electrización por frotamiento se conoce desde la Antigüedad. Siempre que se frote un cuerpo contra otro, se produce un fenómeno eléctrico. Ambos cuerpos, el que fue electrizado y el que electrizó al primero, resultan con cargas eléctricas de diferente signo. Por ejemplo, cuando nos peinamos, el peine adquiere cargas negativas del cabello, que queda cargado positivamente.

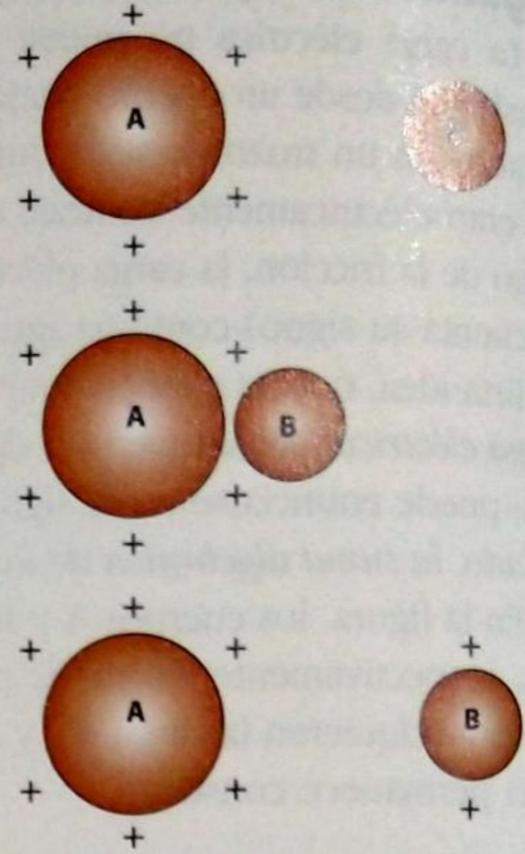
**Electrización por contacto.** Si un cuerpo electrizado toma contacto con otro no electrizado (neutro), cuando se separan, ambos resultan electrizados con cargas del mismo signo.

En el esquema, el cuerpo A está cargado positivamente (para simplificar se indicaron solo seis cargas positivas). El cuerpo B, por su parte, es neutro. Al colocarlos en contacto, se produce una transferencia de dos cargas negativas desde B hacia A. Esto provoca que disminuya la cantidad de cargas positivas del cuerpo A, mientras que en el cuerpo B, el número de cargas positivas excede al número de cargas negativas.

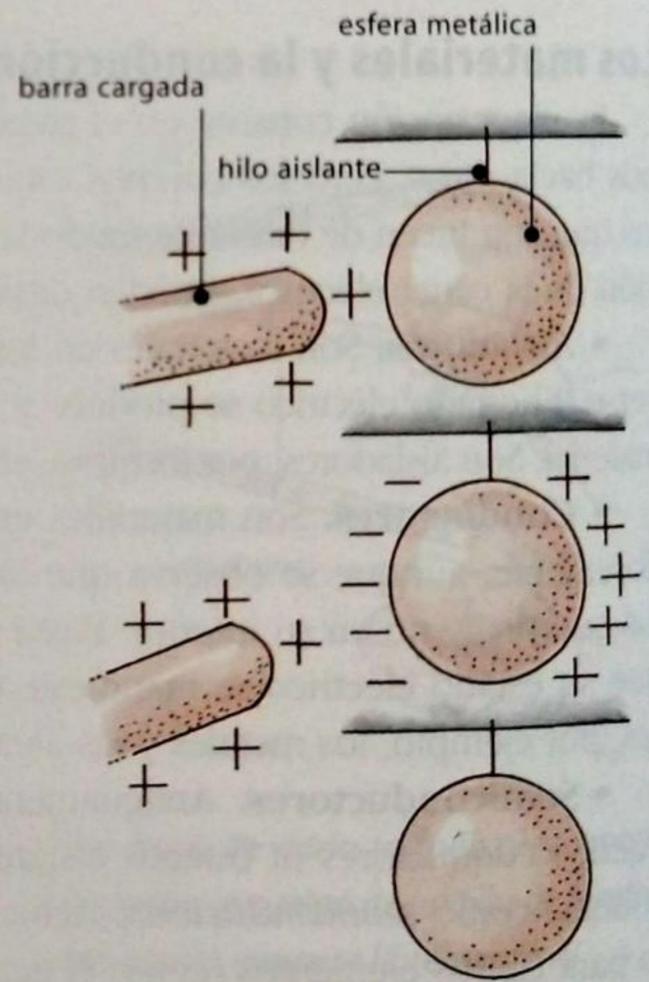
Por lo tanto, el número de cargas positivas del cuerpo B corresponde a la cantidad de cargas negativas que él transfirió al cuerpo A. El número de cargas positivas transferidas por el cuerpo A corresponde a la misma cantidad de cargas positivas que el cuerpo B adquirió.

**Electrización por inducción.** No es preciso el contacto directo entre un cuerpo electrizado y otro neutro para electrizar al segundo. Basta con acercar el cuerpo electrizado al neutro, para que este adquiera cierta carga. En este caso, se dice que la electrización se produce *por inducción*.

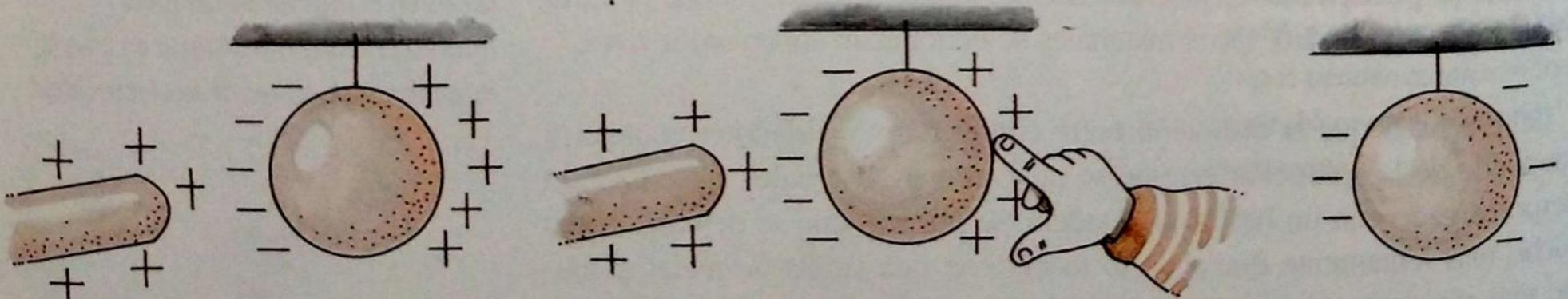
En la figura se muestra una esfera metálica suspendida de un hilo aislante. Se le acerca una barra de vidrio previamente electrizada por frotamiento. La carga positiva de la barra atraerá las cargas negativas (libres) del conductor y repelerá las cargas positivas de este. Si se aparta la barra de vidrio, la esfera metálica vuelve a su estado original (neutro); esto sucede porque sus cargas negativas y positivas dejan de interactuar con las cargas positivas de la barra de vidrio. Si se desea mantener la esfera electrizada (negativamente), antes de apartar la barra de vidrio, se debe tocar con un dedo la parte positiva de la esfera. Al retirar el dedo, la barra se aleja y la esfera queda electrizada con cargas negativas.



Esquema de electrización por contacto.



Esquema de un proceso de inducción.



Esquema de electrización por inducción.

## Faraday y la inducción electrostática

Michael Faraday realizó una serie de estudios sobre la electrización por inducción. Para ello, llevó a cabo diferentes experimentos en los que utilizó un cilindro hueco y un instrumento, luego conocido como *electroscopio*, que permitía detectar la presencia de cargas. El cilindro era metálico, estaba convenientemente aislado y tenía una pequeña abertura en su parte superior. El electroscopio estaba conectado con el cilindro.

La experiencia consiste en introducir, en el interior del cilindro, una pequeña esfera electrizada, por ejemplo, con cargas positivas:

**1** Si se toca con la esfera la cara interior del cilindro, como toda la carga se distribuye sobre la superficie, el electroscopio indicará su presencia; al retirar la esfera, se observará que se encuentra en estado neutro.

**2** Descargando el cilindro y volviendo a introducir en su interior la esfera igualmente electrizada, aunque no se toquen sus paredes, el electroscopio indicará exactamente lo mismo que en el paso anterior.

**3** Ahora bien, si mientras se mantiene la esfera en el interior del cilindro y se comunica a este con tierra, se observa que el electroscopio indica ausencia de cargas.

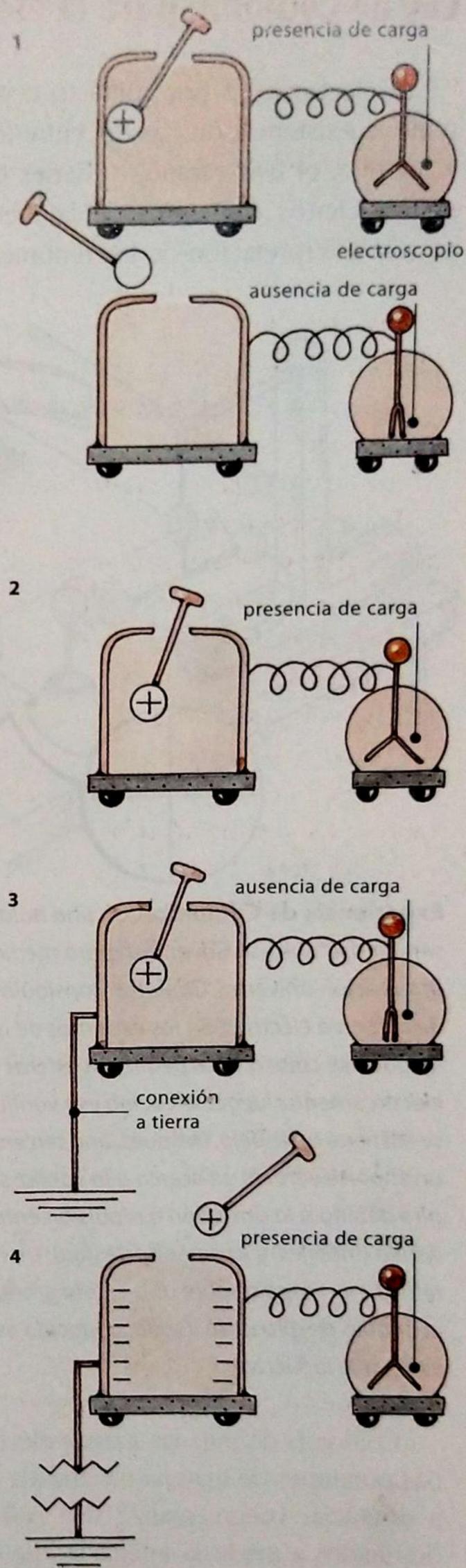
**4** Si luego se interrumpe la comunicación del cilindro con la tierra y se retira el cuerpo inductor (la esfera electrizada), el electroscopio vuelve a indicar la presencia de cargas eléctricas, pero esta vez de signo contrario a la de las cargas del cuerpo inductor.

La experiencia de Faraday permite sostener que:

- Las dos clases de cargas que se desarrollan por inducción son iguales entre sí.
- Cuando el cuerpo inducido rodea por completo al inductor, esas cargas inducidas son exactamente iguales a la carga inductora.
- Cuando el cuerpo inducido no rodea por completo al inductor, las cargas inducidas son siempre menores que la carga inductora. Esto puede corroborarse introduciendo lentamente el cuerpo inductor en el cilindro: se verá que el electroscopio comienza a detectar lentamente la presencia de cargas hasta alcanzar el valor máximo, que se logra cuando el cuerpo inductor está también en el interior.

Con el cilindro de Faraday puede probarse que en el fenómeno de frotamiento no se desarrolla electricidad ni se generan cargas, ya que un cuerpo adquiere cargas positivas y el otro adquiere igual cantidad de cargas, pero negativas. Es decir que el frotamiento solo consiste en una transferencia de cargas de uno a otro cuerpo.

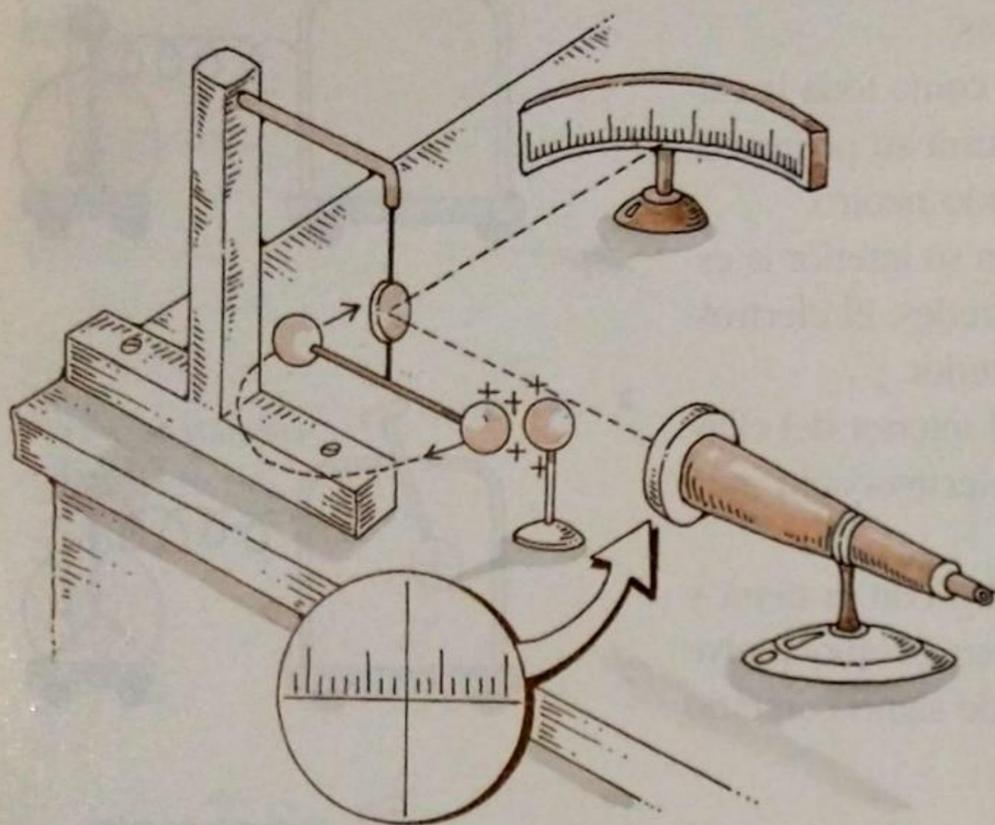
En efecto, si se frota una barra de vidrio con un paño de lana y se introducen en el interior del cilindro de Faraday, el electroscopio no detectará ninguna carga, lo que prueba que no predomina ninguna de las cargas que se desarrollan por frotamiento.



Experiencias de inducción con el cilindro de Faraday.

## Ley de Coulomb para la electricidad

La electrización por contacto o por frotamiento supone la existencia de fuerzas entre los cuerpos. Por este motivo, el físico francés Charles Coulomb pensó en aplicar ciertos conceptos de la mecánica newtoniana para la interpretación de los fenómenos eléctricos.



**Experiencia de Coulomb.** Con una balanza de torsión, similar a la que usó Cavendish para medir la constante de gravitación universal, Coulomb consiguió estimar la intensidad de la fuerza eléctrica. En los extremos de una varilla muy delgada se colocan dos pequeñas esferas cargadas eléctricamente; luego, se cuelga esa varilla de un hilo, de donde se sostiene un espejo. Después, una tercera esfera, montada en un soporte vertical, se acerca a la varilla: se observa que esta gira debido a la atracción o repulsión entre las esferas de la varilla (móviles) y la del soporte (fija). Un haz de luz, que se refleja en el espejo sobre una escala graduada, permite medir el ángulo de giro de la varilla. Conocido este ángulo, puede estimarse la fuerza.

Coulomb definió las cargas eléctricas como pequeñas porciones de materia electrizada que ejercen fuerzas a distancia. Luego, realizó una serie de experimentos destinados a medir la intensidad de esas fuerzas y definir los parámetros que determinan su comportamiento.

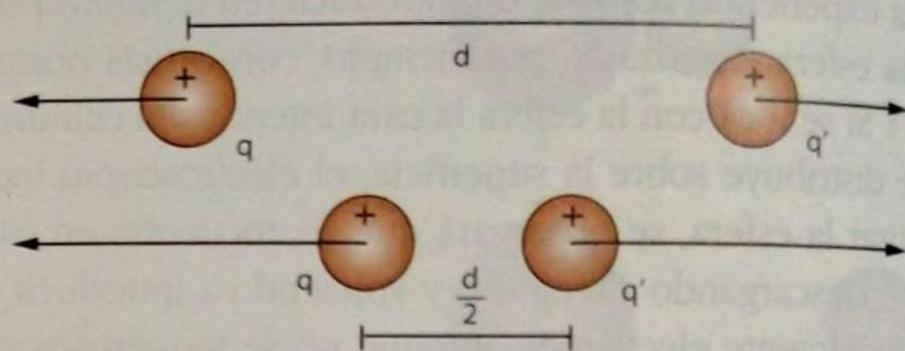
Para ello, consideró que un cuerpo electrizado tiene una cierta cantidad de cargas eléctricas distribuidas en todo su volumen. En sus experiencias, tomó en cuenta solo las fuerzas ejercidas por cargas puntuales, es decir, cada una de las que se distribuyen en los cuerpos cuando estos están cargados electrostáticamente.

La unidad de carga eléctrica se denomina *coulomb*, en recuerdo del físico francés.

A través de sus experiencias, Coulomb halló que la fuerza  $\vec{F}$  entre cargas eléctricas depende tanto de la can-

tidad y el tipo de carga (es decir, su signo) como de la distancia que las separa.

A partir de los resultados obtenidos, formuló la siguiente ley: *La intensidad  $F$  de la fuerza entre dos cargas es directamente proporcional al producto de los valores absolutos de esas cargas ( $q$  y  $q'$ ) e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia  $d$  que las separa.*



La fuerza eléctrica es inversamente proporcional a la distancia  $d$  que separa a las cargas. En este ejemplo, si  $d$  se reduce a la mitad, la fuerza de repulsión aumenta cuatro veces; si las cargas tuvieran signo contrario, la fuerza sería atractiva.

En símbolos, la ley de Coulomb se expresa:

$$F = K \cdot \frac{q \cdot q'}{d^2}$$

donde  $K$  es la llamada *constante electrostática*, y depende del sistema de unidades empleado. En el Sistema Internacional de Medidas, su valor es:

$$K = 9 \cdot 10^9 \cdot \text{N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}$$

donde  $C$  es la abreviatura de coulomb, la unidad de carga eléctrica.

En otras palabras, dos cargas de 1 C cada una, separadas por una distancia de 1 m, se atraen o repelen con una fuerza de  $9 \cdot 10^9 \cdot \text{N}$ , según esas cargas sean de diferente o igual signo.

Como una carga de 1 C resulta muy grande, en general, se utilizan submúltiplos ( $10^{-6}$  C, *microcoulomb*, o bien,  $10^{-9}$  C, *nanocoulomb*).

Por otra parte, la constante  $K$  depende también de la naturaleza del medio en el que se hallan las cargas. Por ejemplo, en una atmósfera de anhídrido carbónico o dentro de un líquido aislante de la electricidad, la fuerza de atracción o repulsión de dos cargas es menor que en el aire. Por lo tanto, para la definición de la unidad de carga y de la constante electrostática, se debe especificar el medio al cual se refiere. Por convención, se definen para el vacío; muchas experiencias revelan que las diferencias de acción entre el vacío y el aire son muy pequeñas.

## Átomo y electricidad

La palabra átomo deriva del griego y significa "que no se puede dividir". Fue introducida por el filósofo Demócrito (460-370 a.C.) para explicar su idea sobre la constitución íntima de la materia. Para Demócrito, los átomos eran las porciones más pequeñas de la materia y los consideraba impenetrables, o bien, en sus palabras, "indivisibles".

Hoy se conoce un centenar de minúsculas partículas que forman parte de la estructura de los átomos, llamadas *partículas subatómicas* o *elementales*, que interactúan entre sí. Entre ellas, se destacan tres:

- Los electrones, cuyo estado eléctrico es negativo.
- Los protones, de estado eléctrico positivo.
- Los neutrones, que no tienen carga eléctrica.

Los protones y neutrones definen una región dentro del átomo, llamada *núcleo atómico*. Los electrones, por su parte, se hallan fuera de ese núcleo, moviéndose incesantemente a su alrededor. En general, los átomos tienen igual cantidad de electrones y protones; es decir que son *eléctricamente neutros*.

Si el átomo adquiere cierta carga eléctrica se dice que es un *ion*; si la carga adquirida es positiva, el ion se denomina *catión*, y, si es negativa, se llama *anión*. En otras palabras, cuando los átomos pierden electrones, quedan con un número de protones mayor que el de electrones; por lo tanto, pasan a ser cationes. Y cuando los átomos reciben electrones, el número total de estos resulta superior que el de protones, y se transforman en aniones. En estos términos, la electricidad negativa consiste en la abundancia de electrones respecto del número de protones de un cuerpo; y la electricidad positiva consiste en la escasez de electrones respecto del número de protones de un cuerpo.

Dado que los protones se hallan en el interior de los núcleos es más difícil que un átomo pierda o gane protones; en cambio, como los electrones se ubican fuera del núcleo, es relativamente más sencillo que se escapen o que otros nuevos electrones se le sumen.

Puede decirse, entonces, que el estado eléctrico de un cuerpo depende del *exceso* o del *defecto* de electrones que tenga. Si el número de electrones es igual al de protones, el cuerpo se halla en estado neutro (no evidencia propiedades atractivas ni repulsivas).

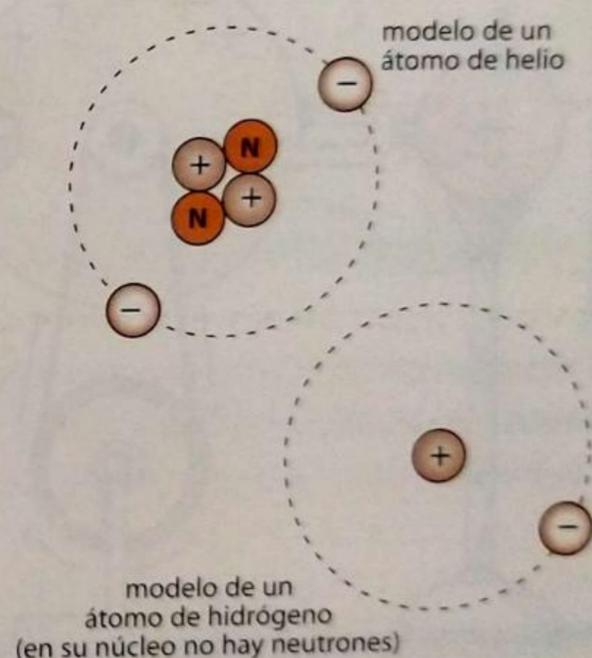
La cantidad de electricidad de un electrón se simboliza con la letra **e** y resulta igual a:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Se trata de la mínima carga eléctrica hallada en la naturaleza, y se la denomina *carga elemental*. Esto significa que la carga de cualquier cuerpo es un múltiplo entero de la carga del electrón, lo que puede escribirse como:

$$q = n \cdot e$$

donde **n** es un número entero (1, 2, 3, ...). Dado que el valor de la carga del electrón es idéntico (en valor absoluto) a la carga del protón, el número **n** puede ser positivo o negativo, según se considere el estado eléctrico de un catión o de un anión.



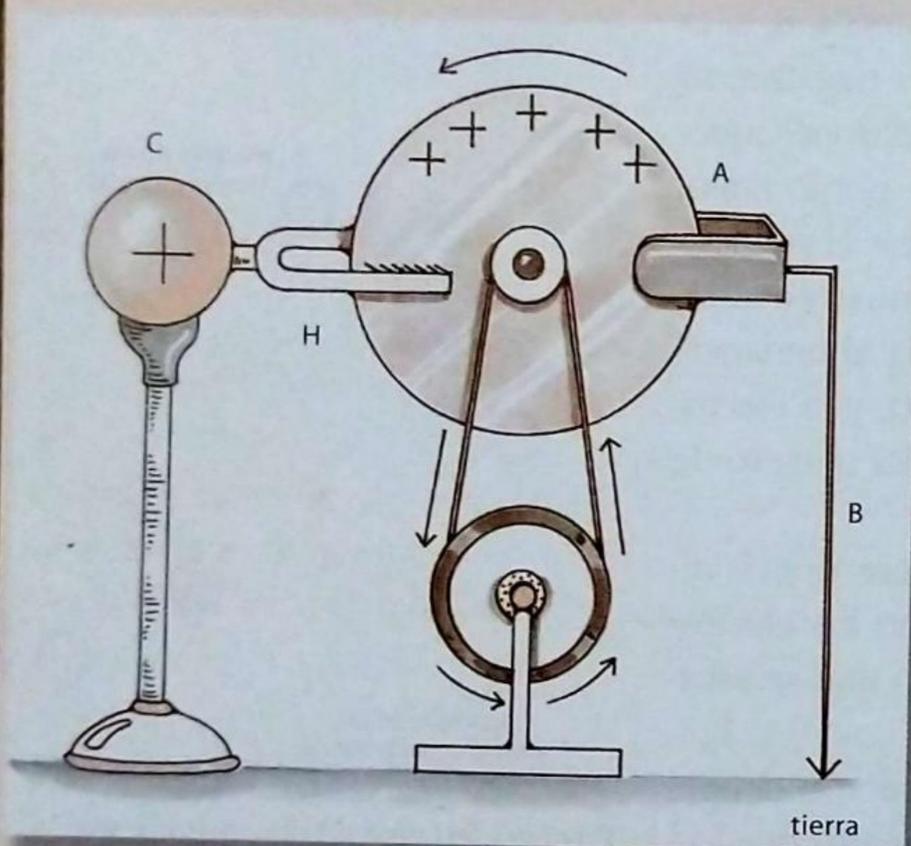
En el núcleo atómico se agrupan los neutrones y los protones, estos últimos de carga eléctrica positiva. Por el Primer Principio de la Electroestática, los protones se repelen entre sí, por lo que se deduce la existencia de una gran fuerza de unión dentro del núcleo atómico, que mantiene juntos a los protones; se la denomina **fuerza nuclear**.

# Máquinas electrostáticas

## Primeros intentos

Otto von Guericke realizó una curiosa experiencia: tomó una esfera de azufre, la hizo girar alrededor de un eje y, una vez que estaba en movimiento, la frotó con las manos secas. Entonces, sintió cómo surgían fuerzas de atracción y de repulsión, y observó (en una habitación oscurecida) que en la esfera se producía una luminosidad débil (efluvio eléctrico). La esfera de Guericke es considerada como el punto de partida en la construcción de máquinas eléctricas.

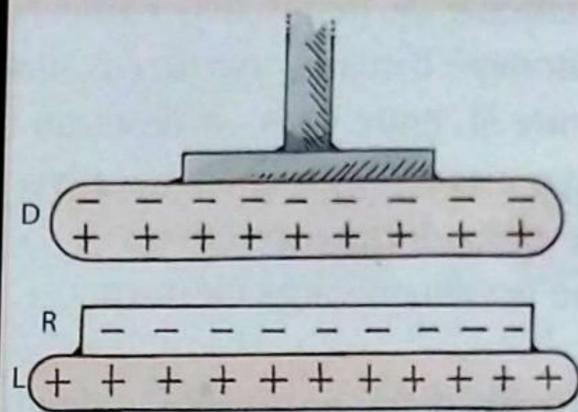
En 1745, se construyó una máquina que consistía en un cilindro de vidrio que era frotado por una serie de conectores unidos al suelo (lo que constituye uno de los primeros intentos de descarga a tierra).



En 1766, el químico inglés Jesse Ramsden (1735-1800) fabricó una máquina de frotamiento (como muestra la figura) que constaba de un disco de vidrio que al girar frotaba contra unas almohadillas conductoras (A), construidas con cuero y recubiertas con estaño. Debido al frotamiento se generaba electricidad positiva en el disco y negativa en las almohadillas; la electricidad negativa era conducida a tierra por un conector (B). Frente a las almohadillas se encontraba una horquilla (H), con puntas conductoras dirigidas hacia el disco; esa horquilla funcionaba como un colector de la electricidad.

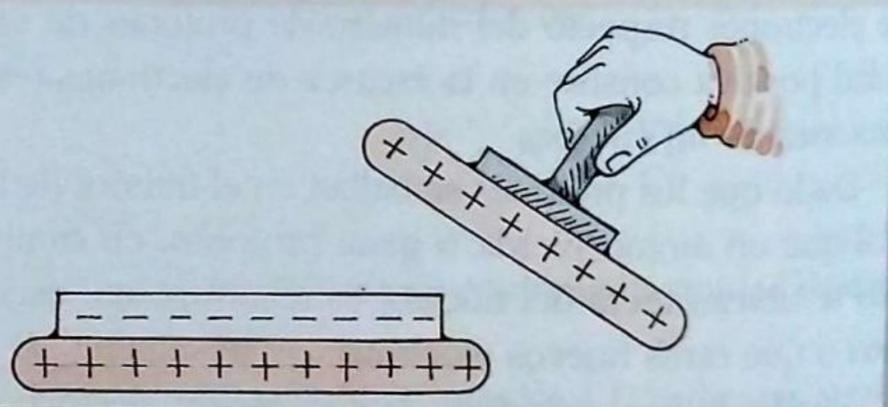
Cuando el disco se cargaba positivamente frente a las puntas de H, por inducción en sus extremos se producía electricidad negativa, que escapaba y neutralizaba la electricidad del disco. Mientras tanto, la electricidad positiva de H era rechazada hacia la esfera o depósito de cargas C. En otras palabras, todo sucedía como si la electricidad del disco pasara a la esfera por intermedio de las puntas del conductor.

## El electróforo de Volta



El electróforo está formado por una placa de resina R sobre una lámina metálica L, que se halla conectada a tierra, y un disco de metal D con un mango de material aislante.

Se trata de la máquina eléctrica por inducción más sencilla. Al frotar la placa de resina (R), esta se carga con electricidad negativa y, por influencia, la lámina (L) se carga con electricidad positiva. La lámina retiene la electricidad negativa de la resina ya que, como la placa de resina está apoyada sobre el disco, no pasa electricidad de una al otro. En el disco, sin embargo, se desarrolla, por influencia, electricidad positiva en la cara inferior y negativa en la superior. Si se toca el disco con un dedo, la electricidad negativa va a tierra y el disco queda cargado positivamente.



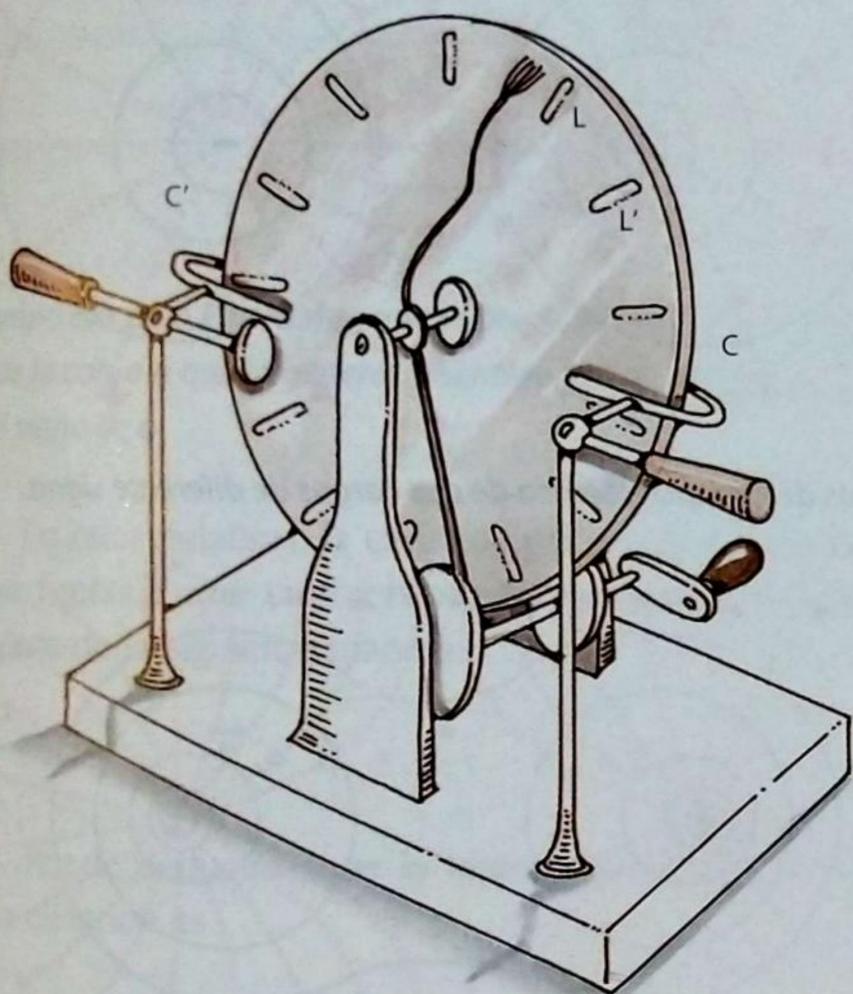
Si tomamos el disco por su mango aislante, podemos transportar la electricidad a otro conductor; esta operación se puede repetir tantas veces como se desee.

En el electróforo de Volta se advierte que cada vez que se aleja el disco cargado de la placa de resina (cargada negativamente) es necesario efectuar un trabajo en contra de las fuerzas eléctricas que tratan de aproximar la placa hacia el disco. Se considera que el disco y la lámina metálica forman un capacitor: cuando ambos componentes se separan, se efectúa un trabajo y la energía eléctrica aumenta en una cantidad exactamente igual al trabajo gastado.

En esa acción, las placas metálicas del capacitor (disco y lámina) no cambian su carga eléctrica; la placa que se halla conectada a tierra (L) también mantiene constante su potencial. Sin embargo, el potencial de la otra placa (D) aumenta.

En todas las máquinas electrostáticas se cumple el mismo principio que en el electróforo: la energía eléctrica desarrollada es igual al trabajo mecánico realizado en contra de las fuerzas eléctricas.

## La máquina de Wimshurst



La estructura más sencilla consta de dos discos de vidrio montados sobre el mismo eje. Ambos giran en sentidos opuestos.

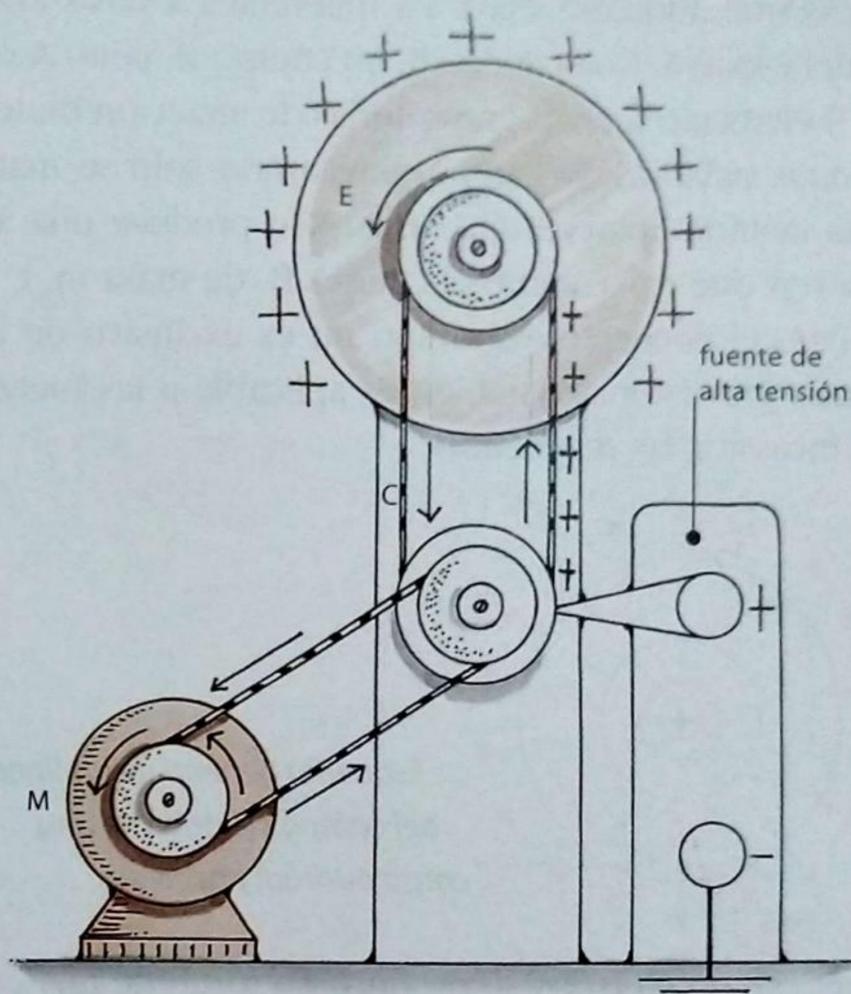
Sobre cada disco se apoya un par de escobillas de metal, las cuales rozan contra ciertas láminas (por ejemplo, las indicadas en la figura como L y L'), también metálicas, ubicadas sobre los discos.

Las escobillas de cada disco están conectadas entre sí por una varilla recta y metálica; las varillas que sostienen las escobillas de cada disco son perpendiculares entre sí.

Finalmente, se ubican, en forma horizontal, dos colectores C y C', provistos de puntas, que se comunican directamente con los colectores de carga (estos últimos no aparecen en la ilustración).

En general, para que la máquina funcione es necesario que existan previamente algunas cargas iniciales en algunos puntos de los discos; esas cargas pueden producirse, por ejemplo, utilizando una barra de vidrio frotada.

## El generador de van de Graaf



**Generador de van de Graaf.** Las cargas transportadas por la correa (C), accionada por un motor externo (M), para el interior de la esfera metálica y hueca (E), se acumulan en la superficie externa de la esfera.

Si un conductor cargado se pone en contacto interno con un segundo conductor hueco, toda su carga pasa a este último, sin importar lo alto que sea su potencial. De este modo, si no fuera por dificultades de aislamiento, la carga y, por consiguiente, el potencial de un conductor hueco podrían alcanzar cualquier valor deseado con solo adicionar sucesivamente cargas por contacto interno.

En la práctica, como el conductor debe ser sostenido de alguna manera, su máximo potencial queda limitado al valor por el cual la proporción en que descargue (a través del soporte y del aire) es igual a la proporción en la cual se le suministra carga.

Este aparato fue construido por el físico estadounidense Robert van de Graaf (1901-1967) en 1930. Se lo conoce también con el nombre de *acelerador de partículas atómicas*, ya que es muy usado por los físicos para estudiar reacciones nucleares (es decir, transformaciones que suceden en el interior de los átomos).

En los laboratorios profesionales, estos generadores utilizan voltajes de millones de voltios; sin embargo, en laboratorios escolares se encuentran algunos que alcanzan potenciales de miles de voltios.