

# Campo Eléctrico

## Introducción



El mundo es eléctrico, así se ve la Tierra desde el espacio durante la noche.

Vivimos en un mundo eléctrico. Existen pocos ejemplos tan claros del efecto que un descubrimiento científico puede tener sobre la vida cotidiana de las personas que aquellos relacionados con la *electricidad*. La lamparita eléctrica, el tubo de imagen de la televisión, el teléfono celular y prácticamente todos los aparatos modernos, basan su funcionamiento de una forma u otra, en los principios que estudiaremos en éste y en los próximos capítulos.

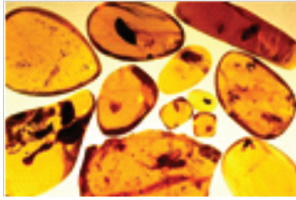
En este viaje hacia la comprensión de los fenómenos eléctricos, nuestra primera parada será en el concepto fundamental de *carga eléctrica*, donde estudiaremos sus características y sus efectos. Más adelante, analizaremos las interacciones entre cuerpos cargados eléctricamente y a su intermediario: *el campo eléctrico*. Finalmente, profundizaremos en el análisis de estas magnitudes y definiremos el concepto asociado de *potencial eléctrico*. Pero comencemos desde el principio: viajemos a la antigua Grecia, donde se realizaron las preguntas adecuadas y las primeras respuestas al respecto.

### “Elektron”

Seguramente alguna vez queriendo pasar por mago, habrás frotado una regla en tu cabeza o en un buzo, para luego acercarla a pequeños pedacitos de papel o semillas y observar como éstos se pegaban “mágicamente” a tu regla.<sup>1</sup> Mucho de atractivo, pero poco de mágico tiene este fenómeno.

---

1 Si nunca lo hiciste, llegó ese momento.



El ámbar es una resina vegetal fósil utilizada muchas veces en joyería.

Desde el siglo V a.C. en la antigua Grecia, se sabía que luego de frotar un trozo de ámbar con distintos materiales, éste presentaba algunas curiosas propiedades. Al conjunto de estas propiedades se le llamó *electricidad*, en función del vocablo utilizado por los griegos para designar al ámbar: *elektron*.

Con el objetivo de explicar y profundizar en éste y otros fenómenos, es que los físicos construyeron en el siglo XVII el concepto de carga eléctrica, con el cual nos familiarizaremos en esta sección.

## Carga eléctrica

La carga eléctrica es una propiedad de la materia que presenta ciertas características que detallaremos a continuación:

**Simetría:** Existen dos tipos de carga eléctrica.

Dos cuerpos con el mismo tipo de carga se repelen, en cambio si poseen cargas de distinta clase se atraen. Antiguamente a los tipos de carga se les denominaba resinosa y vítrea en función de los materiales usados para obtenerlas. Al frotar una barra de ámbar con piel de gato se obtenía “electricidad resinosa”, mientras que al frotar una barra de vidrio con seda, el resultado era “electricidad vítrea”. A partir de trabajos de Benjamin Franklin los nombres de estas clases de carga fueron sustituidos por negativo y positivo respectivamente. Estos nombres no indican ningún tipo de propiedad matemática de la carga, simplemente es una forma de diferenciar los dos tipos de carga que se conocen.



Benjamin Franklin, (físico estadounidense 1706-1790).

Nos preguntamos entonces, ¿dónde se encuentra la carga eléctrica? La materia está compuesta por átomos, que a su vez están compuestos por protones, (cargados positivamente), electrones, (cargados negativamente) y neutrones (sin carga). Los átomos son eléctricamente neutros, o sea, su *carga eléctrica neta es cero*, lo que significa que poseen tanta carga positiva como negativa.

¿Por qué motivo se manifiesta la electricidad luego de frotar la regla con el pelo? Antes de hacerlo, tanto la regla como el pelo tenían igual cantidad de carga positiva que de carga negativa. Durante el frotamiento, algunos electrones migran del pelo a la regla. De esta manera, se produce un desequilibrio en la carga de cada objeto, quedando la regla cargada negativamente (por exceso de electrones) y el pelo positivamente (por defecto de electrones).

### Cuestión:

*¿Cómo se puede explicar que la regla cargada negativamente atraiga pequeños pedacitos de papel o semillitas, siendo éstos eléctricamente neutros?*

**Conservación:** *La carga eléctrica neta en un sistema cerrado<sup>2</sup> se mantiene constante.*

Esto no significa que sea imposible crear o destruir cargas eléctricas. Por ejemplo un electrón y un positrón (una partícula<sup>3</sup> con igual masa que la de un electrón pero cargado positivamente), pueden aniquilarse generando radiación. Esto implica la desaparición de carga positiva y negativa, sin embargo, la carga eléctrica neta del sistema permanece constante.

**Cuantización:** *La carga eléctrica no está distribuida de forma continua.*

Hemos establecido que un cuerpo tiene propiedades eléctricas cuando presenta un exceso o defecto de electrones. Consideremos un cuerpo inicialmente neutro. Al ceder un electrón, queda cargado positivamente con una carga de un protón, al ceder dos, queda cargado positivamente con una carga de dos protones y así sucesivamente. Cabe entonces preguntarse, ¿no es posible que el cuerpo adquiriera un valor cualquiera de carga eléctrica, por ejemplo de 1,5 protones? Hasta donde sabemos actualmente, no.



El dinero está cuantizado en “paquetes” de 1 peso.

La carga eléctrica no está distribuida de forma continua, sino que se encuentra distribuida en “paquetes” elementales de carga (la carga elemental positiva es la del protón y la negativa la del electrón).<sup>4</sup> Cada uno de estos “paquetes” posee una carga cuyo valor absoluto es de  $1,6 \times 10^{-19}$  coulomb.

En el sistema internacional de unidades, la unidad de la carga eléctrica se denomina coulomb (C) en honor a Charles Coulomb.

**Invarianza:** *La carga eléctrica es independiente de la velocidad del observador.*

La teoría de la relatividad especial predice que si medimos algunas magnitudes desde un sistema de referencia A y luego realizamos las mismas medidas desde otro sistema de referencia B en movimiento respecto al primero, obtendremos, en general, resultados diferentes.

Si medimos la longitud de un objeto desde un sistema de referencia y luego realizamos la misma medida con idénticos instrumentos, pero en un sistema de referencia en movimiento a gran velocidad respecto al primero, obtendremos valores diferentes. La longitud de un objeto depende entonces, de la velocidad con la que se mueve el observador. La medición de magnitudes tales como la masa, el tiempo y la energía (por nombrar algunos ejemplos) también dependen de la velocidad del observador.

<sup>2</sup> Un sistema cerrado es aquel que no intercambia materia con el ambiente.

<sup>3</sup> Llamamos partícula a cualquier cuerpo cuyas dimensiones sean muy pequeñas en comparación con el resto de las dimensiones del problema.

<sup>4</sup> Desde 1964, se elabora una teoría, donde los protones y neutrones están compuestos por partículas llamadas quarks, con cargas  $2/3$  y  $-1/3$  de la carga del protón, pero ningún experimento hasta la fecha ha logrado aislar estas partículas.

La carga eléctrica en cambio es invariante con la velocidad, esto significa, que si medimos la carga de un cuerpo desde distintos marcos de referencia; en todos los casos obtendremos el mismo valor. Decimos entonces que la carga eléctrica es independiente de la velocidad del observador.

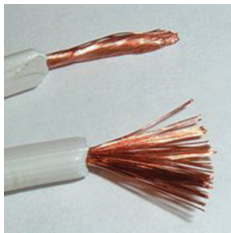
## Corriente eléctrica, conductores y aislantes

Imaginemos que se colocan dos cuerpos cargados en los extremos de un trozo de metal como indica la figura. Éstos, actuarán sobre las partículas cargadas que conforman el material, ejerciendo fuerzas sobre las positivas hacia la izquierda y sobre las negativas hacia la derecha. En el metal, algunas de estas partículas cargadas comenzarán a moverse, estableciéndose así un flujo de cargas al que llamaremos corriente eléctrica.



*Una corriente eléctrica es un flujo neto de cargas eléctricas*

La corriente eléctrica puede ser de dos tipos: continua o alterna. En la corriente continua (C.C.), las partículas cargadas se desplazan siempre en el mismo sentido, mientras que en la alterna (C.A.), cambian el sentido del movimiento periódicamente.



Cada átomo de cobre tiene 29 electrones, sólo uno de ellos es de conducción.

En un metal, los átomos forman una red, dejando algunos electrones “libres” de moverse, denominados electrones de conducción. Debido a éstos, los metales son buenos conductores de la corriente eléctrica. Decimos entonces que los metales en estado sólido *conducen por portadores de carga negativos*.<sup>5</sup> En cambio, si la conducción se da en una solución acuosa de cloruro de sodio, ( $NaCl_{(ac)}$ ), lo hace tanto por portadores de carga positivos (catión  $Na^+$ ) como por portadores de carga negativos (anión  $Cl^-$ ).

Sin importar el signo de las cargas eléctricas que estén realmente moviéndose en el conductor, consideraremos el sentido de la corriente eléctrica como *el sentido en el cual se moverían los portadores de carga positivos*. A este sentido seleccionado arbitrariamente se le denomina *sentido convencional* de la corriente.

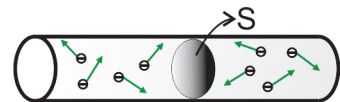
Si ahora se sustituye el trozo de metal por uno de vidrio, no se genera corriente eléctrica ya que no posee electrones de conducción. A este tipo de materiales se los denomina malos conductores o aislantes.



Un aislante como el aire puede volverse conductor en determinadas circunstancias.

## Velocidad de arrastre

Imaginemos un conductor metálico alejado de la influencia de cualquier carga eléctrica. Los electrones de conducción están en continuo movimiento en forma desordenada y aleatoria. Si se considera una sección transversal  $S$  del conductor se observa que es atravesada continuamente por estas partículas en

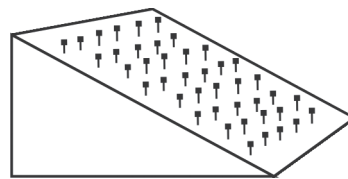


<sup>5</sup> El berilio y el zinc son ejemplos de metales que no cumplen esa regla.

ambos sentidos. Al medir la cantidad de carga negativa que atraviesa dicha sección en un sentido durante un intervalo de tiempo considerable, se ve que coincide con la cantidad de carga negativa que la atraviesa en sentido contrario. Por lo tanto no hay un flujo neto de cargas.



En cambio, al colocar un cuerpo cargado positivamente a la derecha del conductor, (y/o uno cargado negativamente a la izquierda), los electrones de conducción tendrán un movimiento neto hacia la derecha, es decir, se establece una corriente eléctrica hacia la izquierda. Cabe aclarar que el movimiento que realizan estos electrones hacia la derecha no es tan ordenado y lineal como podríamos imaginar. Debido a la atracción que ejerce el cuerpo cargado positivamente, los electrones de conducción aceleran hacia la derecha, sin embargo, casi inmediatamente "chocan" con los iones metálicos que forman parte de la red, transfiriéndoles gran parte de la energía cinética ganada. Esta transferencia de energía es la responsable de que los conductores aumenten su temperatura cuando por ellos pasa corriente y de que la velocidad media de los electrones, denominada *velocidad de arrastre*, sea muy baja. En una linterna común la velocidad de arrastre de los electrones no supera los 0,01 *cm/s*, por lo que un electrón demora más de media hora en recorrer los 20 *cm* del circuito de la linterna (una tortuga lo haría en unos pocos segundos). Si bien la velocidad de arrastre de los electrones es en general bajísima, la velocidad instantánea del electrón es del orden de 1/200 de la velocidad de la luz, es decir, unos 1.500.000 *m/s*.



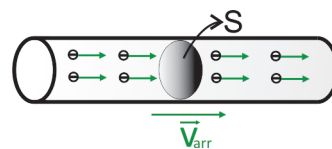
El movimiento de un electrón dentro de un conductor "se parece" al de la bolita cayendo en una tabla con clavos.

**Cuestión:**

*Los electrones fluyen con mucha lentitud en un circuito, ¿cómo se explica entonces que no exista un tiempo de retraso apreciable entre que se cierra el interruptor y se prende la lamparita?*

**Intensidad de corriente eléctrica**

Supongamos que en un conductor establecemos una corriente eléctrica. Notaremos entonces que en cierto intervalo de tiempo  $\Delta t$  un número  $N$  de portadores de carga atraviesan una sección  $S$  transversal del conductor. La carga total que atraviesa dicha sección es  $q = N|q_e|$ , siendo  $q_e$  la carga del electrón.<sup>6</sup> Se define la intensidad de corriente  $i$  como el cociente entre la carga que atraviesa una sección  $S$  transversal del conductor y el tiempo que demora en hacerlo.



Se modela a la corriente eléctrica como un movimiento ordenado de electrones con la velocidad de arrastre.

$$i = \frac{q}{\Delta t}$$

Por ser el cociente entre carga y tiempo, la unidad de la intensidad de corriente en el sistema internacional es *C / s*. Esta combinación de unidades se conoce como ampere (*A*) en honor a André Marie Ampère.

<sup>6</sup> Esto es válido si cada portador de carga posee la carga neta de un electrón.

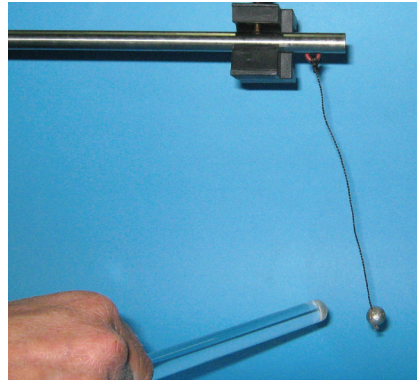


## Campo eléctrico

Como hemos visto las interacciones eléctricas entre cuerpos cargados pueden generar una corriente eléctrica. Este tipo de interacción es a distancia, ya que ocurre sin contacto directo entre ellos.

Esta peculiaridad genera algunas interrogantes:

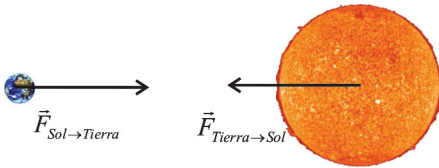
- ¿De qué manera se “transmite” la información que le indica a uno de los cuerpos cargados que debe ser atraído o repelido por el otro?
- Imaginemos dos cuerpos cargados interactuando. Si uno de ellos se descarga, ¿cómo se entera el otro? ¿Lo hace instantáneamente?



Para responder a estas interrogantes los científicos concibieron la interacción entre cuerpos cargados, incluyendo una nueva entidad que oficia de intermediario entre ellos, llamada *campo eléctrico*. En esta sección profundizaremos en sus características.

### Previamente una analogía, el campo gravitatorio

No existe información que pueda viajar a velocidades superiores a la de la luz. Esto implica que ningún cambio que se produzca por ejemplo en el Sol, se percibirá en la Tierra instantáneamente. La luz emitida por el Sol demora aproximadamente ocho minutos en llegar a la Tierra. Entonces, si el Sol por algún motivo se “apagara” súbitamente, en la Tierra recién lo notaríamos ocho minutos después.

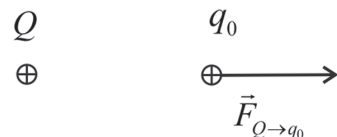


La fuerza que permite a la Tierra mantenerse en órbita alrededor del Sol es, al igual que la fuerza eléctrica, una acción a distancia. Supongamos que “mágicamente” el Sol desaparece. Durante ocho minutos sobre la Tierra seguirá actuando una fuerza que la obliga a orbitar alrededor de “algo” que ya no existe. ¿Quién ejerce esta fuerza sobre la Tierra? ¿Qué

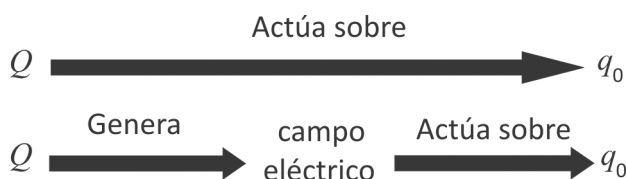
la mantiene en órbita? Durante ocho minutos el concepto de acción a distancia carece de sentido. La tercera ley de Newton (ley de acción y reacción) tal como la conocemos, tampoco se cumple.

Consideremos la siguiente posibilidad: en vez de suponer que el Sol ejerce una fuerza a distancia sobre la Tierra, pensemos en el Sol modificando las condiciones del espacio que lo rodea y estas modificaciones afectando a la Tierra y a todos los cuerpos que se encuentran alrededor del Sol. A estas modificaciones las llamamos *campo gravitatorio*. De esta manera cambiamos la forma de analizar las acciones a distancia. Decimos que el Sol genera a su alrededor un campo gravitatorio y éste actúa sobre la Tierra. Este nuevo concepto permite explicar el hecho que sobre la Tierra actúe una fuerza durante ocho minutos pese a haber desaparecido el Sol. El campo gravitatorio en el lugar donde se encuentra la Tierra desaparece ocho minutos después.

De igual forma podemos aplicar el concepto de campo para responder las interrogantes planteadas sobre la acción a distancia entre cuerpos cargados eléctricamente. Imaginemos ahora dos partículas cargadas  $Q$  y  $q_0$  interactuando.



Si mantenemos nuestro concepto de acción a distancia, decimos que  $Q$  ejerce una fuerza sobre  $q_0$ . En cambio, podemos incluir la noción de un intermediario, llamado *campo eléctrico*, de forma tal que  $Q$  genera un campo eléctrico a su alrededor y es este “intermediario” quien actúa sobre  $q_0$ .<sup>7</sup> **La fuerza ejercida sobre  $q_0$  surge entonces de la acción de una propiedad local en el lugar del espacio donde se encuentra.**



Para verificar la presencia de un campo eléctrico en un lugar del espacio, colocamos allí una partícula cargada  $q_0$ . Si sobre ésta actúa una fuerza de origen eléctrico, diremos que en ese lugar existe un campo eléctrico. A  $q_0$  la llamaremos *carga de prueba* ya que a partir de ella probaremos la presencia de un campo eléctrico. Convencionalmente esta partícula tiene carga positiva.

*La existencia del campo eléctrico no está supeditada a la presencia de la carga de prueba, la cual solamente oficia de “testigo” del campo eléctrico.*

### Formalizando

Supongamos que un lugar del espacio existe un campo eléctrico. Para determinar las características de dicha entidad colocamos en esa posición una carga de prueba cuya carga es lo suficientemente pequeña como para no afectar el campo eléctrico que se quiere determinar.

El campo eléctrico se define como el cociente entre la fuerza de origen eléctrico que actúa sobre la carga de prueba y el valor de dicha carga.

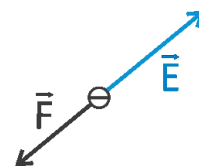
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

Por ser el cociente entre fuerza y carga, la unidad del campo eléctrico en el sistema internacional es  $N / C$ .

El campo eléctrico es una magnitud vectorial, ya que surge del cociente entre una magnitud vectorial  $\vec{F}$  y otra escalar  $q_0$ . La dirección y sentido del campo eléctrico son iguales a los de la fuerza eléctrica que actúa sobre la carga de prueba.



El campo eléctrico en un punto del espacio es independiente de la carga de prueba. Esto garantiza que el conocimiento del campo eléctrico en cualquier punto del espacio, permite determinar la fuerza eléctrica sobre cualquier partícula cargada que se coloque, simplemente aplicando la expresión  $\vec{F} = q\vec{E}$ . Siendo  $q$  la carga de la partícula colocada. Observemos que si la partícula está cargada negativamente, la fuerza que ejerce el campo eléctrico sobre ella tiene sentido contrario al campo eléctrico.



<sup>7</sup> De igual forma  $q_0$  genera un campo eléctrico y éste actúa sobre  $Q$ .

Si queremos determinar el campo eléctrico en una región del espacio, podemos colocar una carga de prueba en cada punto de la región y determinar el campo eléctrico en cada uno de ellos.

**Problema muestra: fuerza y campo eléctrico.**

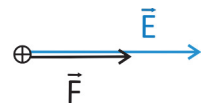
En un punto P del espacio existe un campo eléctrico horizontal hacia la derecha, cuyo módulo es de  $5,0 \times 10^4 \text{ N/C}$ . Determine la fuerza eléctrica que actúa sobre una partícula cargada colocada en el punto P, si su carga vale:



- a)  $1,5 \text{ mC}$ .
- b)  $-3,0 \text{ mC}$ .

**Resolución:**

a) En el punto P existe un campo eléctrico de  $5,0 \times 10^4 \text{ N/C}$  como muestra la figura. Al colocar en P una partícula cargada positivamente de  $1,5 \text{ mC}$  ( $1,5 \times 10^{-3} \text{ C}$ ) ésta recibe una fuerza con igual dirección y sentido que el campo eléctrico y cuyo módulo viene dado por  $F = |q|E$ .  
Sustituyendo:  $F = 1,5 \times 10^{-3} \cdot 5,0 \times 10^4 = 7,5 \times 10^1 \text{ N}$



b) En este caso la partícula tiene carga negativa, por lo tanto, recibe una fuerza en sentido contrario al campo. El módulo de la fuerza es:  $F = 3,0 \times 10^{-3} \cdot 5,0 \times 10^4 = 1,5 \times 10^2 \text{ N}$



## Una imagen mecánica del campo

Imaginemos una sábana tensa dispuesta horizontalmente tal cual se ve en la foto y sobre ella una pelota de tenis. Ésta permanecerá en equilibrio en el lugar colocado.

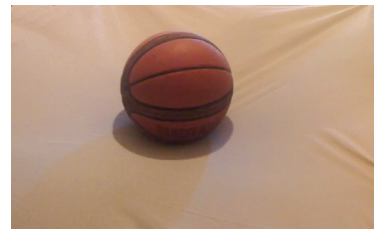


Imaginemos ahora que en alguna zona de la sábana tensa depositamos una pelota de básquetbol que deforma la sábana.

La pelotita de tenis cae hacia donde se encuentra la pelota de básquetbol. ¿Por qué?

Evidentemente, debido a la deformación de la sábana. En esta analogía la sábana representa el espacio y su deformación el campo eléctrico.

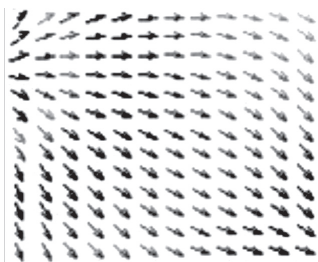
Como se ve en la tercera foto, la deformación de la sábana es independiente de la presencia de la pelotita de tenis, quien solamente actúa como testigo de la deformación.



Aunque desconozcamos la causa de la deformación, podemos conocer los efectos que produce sobre la pelotita de tenis.



## Líneas de campo eléctrico



Un campo eléctrico representado mediante vectores en varios puntos

Hasta ahora representamos el campo eléctrico mediante un vector, lo cual nos permite indicar con precisión las características del campo en un punto del espacio. Si quisiéramos ampliar la imagen a una zona del espacio, este método resultaría poco conveniente, ya que deberíamos representar un vector para cada punto de la zona.

Existe una forma alternativa de representar un campo en una zona del espacio mediante una herramienta ideada por Michael Faraday (1791-1867) denominada *líneas de campo eléctrico*.

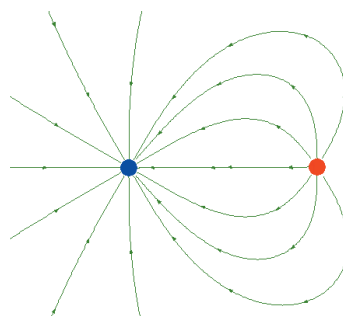
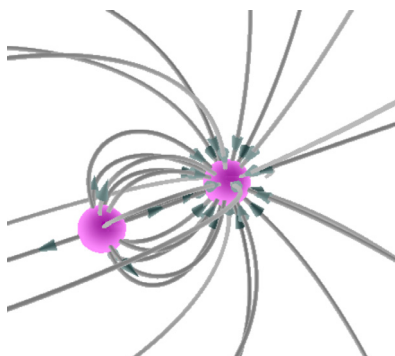


El mismo campo eléctrico representado mediante líneas de campo eléctrico.

Estas líneas tienen las siguientes características:

- Tienen su origen en los cuerpos con carga positiva y terminan en aquellos con carga negativa.
- El vector campo eléctrico en cualquier punto de una línea de campo es tangente a dicha línea.
- No se cortan.
- La densidad de líneas en determinada zona del espacio es proporcional al módulo del campo eléctrico (están más juntas donde el campo es más intenso).
- La cantidad de líneas que salen o llegan a un cuerpo cargado es proporcional al valor de su carga.

Líneas de campo representando al campo eléctrico generado por dos partículas cargadas de diferente signo.

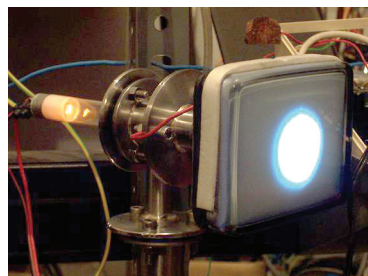


Representación en el plano de las líneas de campo de dos partículas cargadas con cargas  $-2q$  y  $+q$ . De la partícula con carga  $+q$  salen la mitad de las líneas que llegan a la partícula con carga  $-2q$ .

## Movimiento de partículas cargadas en un campo eléctrico

Sobre cualquier partícula cargada que se encuentre en un campo eléctrico actúa una fuerza dada por  $\vec{F} = q\vec{E}$ . Cuando la fuerza eléctrica es mucho mayor que cualquier otra fuerza presente, podemos suponer que la fuerza neta que actúa sobre la partícula cargada es la fuerza eléctrica. Por lo que, aplicando la segunda ley de Newton obtenemos:

$$\vec{F}_{neta} = m\vec{a} \Rightarrow m\vec{a} = q\vec{E}$$



Los electrones emitidos por el cátodo son acelerados por campos eléctricos, emitiendo luz al chocar con el fósforo de la pantalla del televisor.

Estando la aceleración dada por:

$$\vec{a} = \frac{q}{m} \vec{E}$$

La aceleración tiene igual dirección que el campo eléctrico, dependiendo su sentido del signo de la carga de la partícula.

Dados  $E$ ,  $q$  y  $m$ , se pueden predecir las características del movimiento si se obtiene la ecuación posición-tiempo para el movimiento de la partícula cargada. Esta ecuación en general es difícil de obtener, exceptuando la situación en la cual el campo eléctrico es uniforme. En este último caso el movimiento queda descrito por las ecuaciones que caracterizan los movimientos uniformemente acelerados.

---

**Problema muestra: movimiento de partículas cargadas dentro de un campo eléctrico.**

Se aceleran electrones desde el reposo por medio de un campo eléctrico considerado uniforme cuyo módulo es de  $8,0 \times 10^3 \text{ N/C}$ . Si el campo eléctrico está confinado a una región de aproximadamente  $2,0 \text{ cm}$ :

- Determine la aceleración de cada electrón.
- Determine la velocidad con que los electrones salen del campo eléctrico.

Suponga despreciable la fuerza gravitatoria sobre los electrones.

**Resolución:**

a) Como la única fuerza que actúa sobre los electrones es la eléctrica, aplicando la segunda ley de Newton, tenemos que:

$$\vec{F}_{\text{neto}} = m\vec{a} \Rightarrow m\vec{a} = q_e \vec{E}$$

Donde el módulo de la aceleración está dado por:  $a = \frac{|q_e|}{m} E$

Sustituyendo obtenemos:

$$a = \frac{1,6 \times 10^{-19} \cdot 8,0 \times 10^3}{9,11 \times 10^{-31}} = 1,4 \times 10^{15} \text{ m/s}^2$$

b) Como los electrones realizan un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, para determinar la velocidad con que salen del campo eléctrico podemos utilizar la siguiente expresión:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$$

Recordando que la velocidad inicial de los electrones es nula y expresando el desplazamiento en metros:

$$v_f^2 = 2 \cdot 1,4 \times 10^{15} \cdot 0,020 = 5,6 \times 10^{13} \text{ m}^2 / \text{s}^2$$
$$v_f = \sqrt{5,6 \times 10^{13}} = 7,5 \times 10^6 \text{ m/s}$$

## La carga eléctrica y los enlaces químicos

Cargar un objeto implica una transferencia de electrones, asimismo, los cuerpos con cargas de igual signo se repelen y con cargas de distinto signo se atraen. Este modelo nos permite explicar de forma sencilla los enlaces químicos y sus propiedades.

Por ejemplo el cloruro de sodio (sal de mesa) y el agua son dos sustancias compuestas. Las sustancias compuestas son aquellas que mediante algún método físico o químico pueden descomponerse en sustancias simples. El cloruro de sodio puede descomponerse en sodio metálico ( $Na$ ) y en gas cloro ( $Cl_2$ ), mientras que el agua en los gases hidrógeno ( $H_2$ ) y oxígeno ( $O_2$ ).

Si bien el cloruro de sodio y el agua son ambas sustancias compuestas, la manera en que se enlazan sus componentes tiene características notoriamente diferentes.

El cloruro de sodio es una de las sustancias más abundantes en la naturaleza, sin embargo no existe sodio metálico libre y las cantidades de gas cloro son realmente pequeñas.<sup>8</sup>

¿Por qué estas sustancias simples como el  $Na$  y el gas  $Cl_2$  son tan reactivas? El  $Na$  tiene número atómico 11, lo que implica que tiene once electrones en su estado neutro. Se encuentra sobre la izquierda de la tabla periódica, integrando el grupo de metales alcalinos junto al potasio y al litio, entre otros.

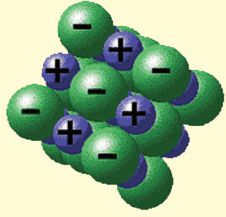
Los átomos van ubicando sus electrones llenando los diferentes niveles y subniveles de energía. El nivel 1 sólo puede albergar dos electrones, el nivel 2 con todos sus subniveles ocho electrones más, por lo que el onceavo electrón del sodio se encuentra ubicado en el tercer nivel de energía, mucho más alejado del núcleo que el resto de los electrones. El sodio tiene entonces “gran facilidad” para perder su último electrón lo que lo hace extremadamente reactivo.

Por otro lado el átomo de cloro, tiene número atómico 17. En la tabla periódica lo encontramos sobre la derecha (al lado de la columna de los gases nobles) junto a otros elementos llamados halógenos también muy reactivos (flúor, bromo, yodo). Este átomo tiene completos los dos primeros niveles de energía y le falta un electrón para llenar el tercer nivel energético que también puede ubicar hasta ocho electrones. El cloro tiene entonces “gran avidez” por electrones para poder llenar su último nivel energético y estabilizarse.<sup>9</sup>

---

8 El gas cloro se puede percibir en las piscinas, desprendiéndose como producto del hipoclorito de sodio (sustancia que se agrega para preservar las condiciones del agua), emanando el olor característico de dichos recintos.

9 La estabilidad la da el tener completa el último nivel energético. Los llamados gases nobles o inertes tienen completo el último nivel, por esto es que prácticamente no reaccionan ya que no tienen “avidez” por electrones ni tampoco necesidad de “perder” algunos de ellos.

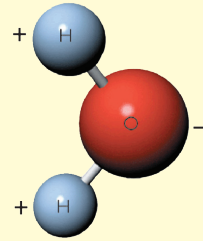


Esta “avidez por electrones” o “facilidad de desprenderse de electrones” queda formalizada a través de una magnitud llamada electronegatividad. Observemos que la diferencia de electronegatividades es muy grande entre el sodio y el cloro. Es así que en el cloruro de sodio, el sodio pierde un electrón que es recibido por el cloro, quedando un catión  $Na^+$ , y un anión  $Cl^-$ . Entre ellos existe una atracción electrostática responsable de la formación de la molécula de  $NaCl$ . A este tipo de

enlace se lo denomina **enlace iónico**.

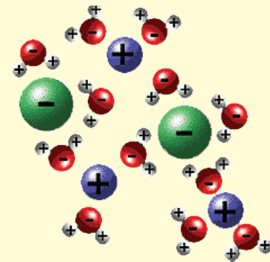
| Electronegatividades |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|
| Na                   | Cl   | O    | H    |
| 0,93                 | 3,16 | 3,44 | 2,20 |

En el caso del agua ( $H_2O$ ) la situación entre los átomos de hidrógeno y oxígeno es algo diferente. El hidrógeno tiene solo un electrón, obviamente en su primer nivel de energía el que no se encuentra completo, mientras que el oxígeno con número atómico 8, tiene seis electrones en el segundo nivel. Necesitaría dos electrones más para llenar este nivel. Podemos pensar que el oxígeno, quite los electrones de cada uno de los hidrógenos, pero en este caso la diferencia entre la avidez del oxígeno y la facilidad para desprenderse de electrones de los hidrógenos no es lo suficientemente grande como para extraerlos completamente y formar iones.



El oxígeno al ser más electronegativo que el hidrógeno hace que los electrones de estos últimos pasen más tiempo en las cercanías del oxígeno que del hidrógeno. Este tipo de enlaces se llama **enlace covalente** y en el caso del agua tiene el agregado que se forma una molécula polar. Aparecen zonas en la molécula donde existe un exceso de electrones (polo negativo) y una zona con defecto de los mismos (polo positivo).

La polaridad de la molécula de agua permite explicar por qué la sal común (así como otros compuestos iónicos) se disuelve en agua formando iones en solución acuosa. Las moléculas de agua rodean cada ión separando el sodio del cloro y disminuyendo la interacción eléctrica entre ambos.



## Biografías

*Prof. Antonio Orioni.  
Ilustración: Manuel Maldonado*

### **Benjamin Franklin**

(1706-1790 Filadelfia, Estados Unidos)

Fue el primer físico norteamericano. Nacido en la colonia británica de Filadelfia, Franklin se comenzó a dedicar a la física a partir de la edad de 40 años. Hasta ese entonces su actividad fue la de editor, lo que lo puso en contacto con las nuevas ideas no solo científicas sino filosóficas y políticas, liberales provenientes de Francia, lo que lo llevó a ser uno de los principales estadistas y gestores de la revolución y la nación norteamericana.

Publicó entre otras obras “Experimentos y observaciones en electricidad realizadas en Filadelfia, América” en 1753, lo que le valió el nombramiento de miembro de la Real Sociedad de Londres y de la Real Academia de Ciencias de París, los dos centros más importantes de la ciencia en el mundo de ese entonces. En este libro relata la experiencia de remontar una cometa durante una tormenta para cargar botellas de Leyden con electricidad, no a través de rayos, pero esta experiencia lo llevó a diseñar e inventar el pararrayos.

A él se debe la actual denominación de “positivas” y “negativas” de las cargas eléctricas.





## Problemas

\*1- ¿Cambiaría la forma en que conocemos el mundo si los signos de las cargas del electrón y del protón se invirtiesen?

\*2- Una pompa de jabón posee cierto diámetro  $d$ . Si se la carga eléctricamente, ¿qué ocurre con su diámetro?

\*\*3- Se carga eléctricamente un péndulo. Al acercarlo a otro péndulo inicialmente descargado, se atraen hasta adherirse. Después de un corto tiempo se repelen separándose. Explique este fenómeno.

\*4- ¿Cuántos protones conforman un coulomb de carga?

\*5- ¿Puede un cuerpo tener una carga eléctrica de  $2,4 \times 10^{-19} \text{ C}$ ? ¿Y de  $3,2 \times 10^{-19} \text{ C}$ ?

\*6- En cierta región del espacio se coloca una carga de prueba. Se observa que actúa sobre la misma una fuerza de origen eléctrico.

a) ¿Qué puede concluir?

b) Si se retira la carga de prueba, ¿cambiaría su respuesta anterior?

\*\*7- Un protón pasa por un punto P con una velocidad de  $3,0 \times 10^4 \text{ m/s}$  dentro de un campo eléctrico uniforme cuyo módulo es de  $200 \text{ N/C}$ . Si el sentido de la velocidad del protón coincide con el del campo eléctrico:

a) Determine la fuerza eléctrica sobre el protón.

b) Determine la aceleración del protón.

c) Determine la velocidad que adquiere el protón después de haber recorrido  $20 \text{ cm}$  dentro del campo eléctrico.

\*\*8- Un electrón que se encuentra inicialmente en reposo, es acelerado por efecto de una fuerza eléctrica ejercida por un campo eléctrico uniforme. Si el electrón adquiere una velocidad de  $1,5 \times 10^4 \text{ m/s}$  en  $0,30 \text{ s}$ . Determine el módulo del campo eléctrico.

\*\*9- En la superficie de la Tierra existe un campo eléctrico vertical hacia abajo de aproximadamente  $100 \text{ N/C}$ . Si se suelta una partícula cargada cuya masa es de  $4,0 \text{ g}$ :

a) ¿Cuál debe ser su carga para que levite?

b) Si la carga de la partícula que se suelta es el triple de la que acaba de calcular, realizará un movimiento ascendente. ¿Por qué?

c) Considerando la situación descrita en la parte b y que la partícula parte del reposo, determine su velocidad cuando haya ascendido  $5,0 \text{ m}$  respecto al punto inicial.

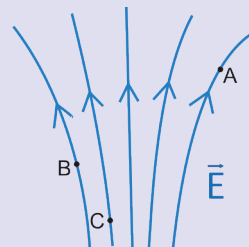
\*\*10- Explique por qué las líneas de campo eléctrico no pueden cortarse.

\*11- Realice un dibujo cualitativo de líneas de campo para el campo eléctrico generado por dos partículas con cargas eléctricas  $-q$  y  $3q$  separadas cierta distancia.

\*\*12- Realice un dibujo cualitativo de líneas de campo para el campo eléctrico generado por dos partículas con cargas eléctricas  $-q$  y  $-3q$  separadas cierta distancia.

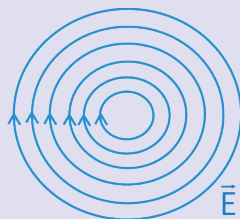
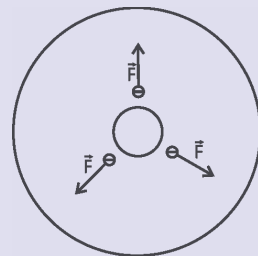
\*13- En una región del espacio existe un campo eléctrico descrito por las líneas de campo que muestra la figura.

- Indique la zona donde el campo eléctrico es más intenso.
- Represente el vector campo eléctrico en los lugares marcados.
- Si colocamos un protón en alguno de los puntos (A, B o C) ¿qué le sucede?
- ¿En cuál de los puntos marcados debe colocarse el protón para que reciba una fuerza eléctrica mayor?



\*14- Dos anillos concéntricos cargados con cargas opuestas se colocan como muestra la figura. Al colocar partículas cargadas negativamente entre los anillos, actúan sobre éstas fuerzas de origen eléctrico.

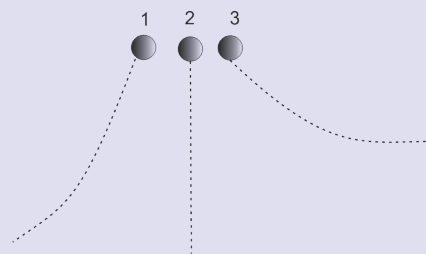
- Represente algunas líneas del campo eléctrico generado por los anillos.
- ¿Cuál de los anillos está cargado positivamente y cual negativamente?
- ¿Dónde es más intenso el campo eléctrico?



\*\*15- ¿Es posible que la distribución de las líneas de campo eléctrico de la figura correspondan a un campo eléctrico generado por cargas eléctricas en reposo?

\*\*16- El dibujo muestra la trayectoria seguida por tres objetos de igual masa que ingresan desde las posiciones indicadas con igual velocidad, en distintos momentos, en un campo eléctrico uniforme.

- Sabiendo que el objeto 1 está cargado negativamente, dibuje algunas líneas de campo eléctrico.
- Determine el signo de la carga neta que poseen los objetos 2 y 3.
- Compare los valores absolutos de las cargas de los objetos.



\*\*\*17- Un péndulo simple de longitud  $L$  tiene una esfera de masa  $m$  con carga neta  $q$ . Este péndulo está situado en un campo eléctrico uniforme vertical y ascendente de módulo  $E$ . Si  $q$  es positiva, al soltarlo tarda un tiempo  $t_1$  en completar una oscilación. Si  $q$  es negativa, tarda un tiempo  $t_2$  en completar una oscilación. Explique el fenómeno descrito e indique cuál de los tiempos medidos es mayor.

\*\*\*18- Dos placas cargadas aisladas generan un campo eléctrico considerado uniforme, tal como indica la figura. Un electrón es lanzado con una velocidad inicial de  $4,0 \times 10^6 \text{ m/s}$  formando  $30^\circ$  con las placas.

- Si el electrón llega justo al otro vértice de la placa inferior, determine el módulo del campo eléctrico.
- Si se reduce la distancia entre las placas a la mitad, ¿golpeará el electrón la placa superior? Si lo golpea, ¿en qué posición lo hace?

