



Universidad Nacional de San Luis  
Fac. Cs. Físico-Matemáticas y Naturales  
Departamento de Física

# **APUNTES DE FISICA**

**Para Alumnos de las Carreras:**

**Analista Químico**

**Tecnicatura Univ. en Esterilización**

**Tecnicatura Univ. en Laboratorios Biológicos**

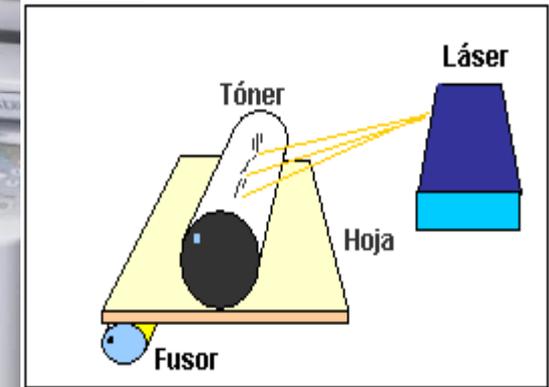
**Tecnicatura Univ. en Seguridad e Higiene en el Trabajo**

# **Capítulo 6**

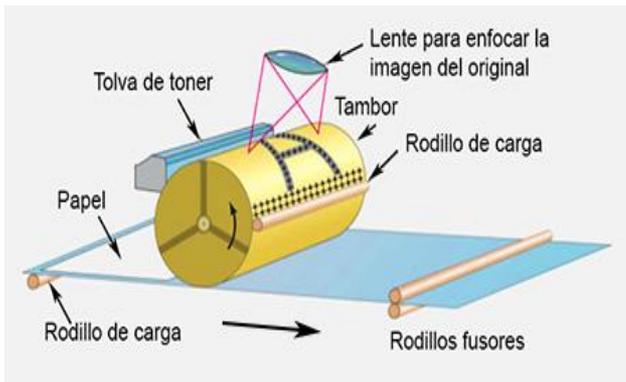
## **Electrostática**

# Electrostática

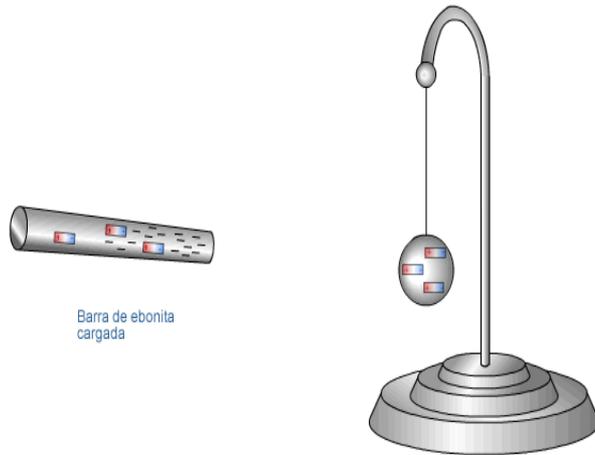
Estudiaremos fenómenos asociados con cargas eléctricas en reposo (**Electrostática**)



El corazón de una impresora láser es un pequeño tambor rodante con un revestimiento que le permite mantener una **carga electrostática**. Un láser recorre la superficie del tambor, colocando selectivamente puntos de carga positiva, que representarán la imagen de salida. En el momento apropiado, el papel es pasado a través de un cable cargado eléctricamente que deposita una carga negativa en él.



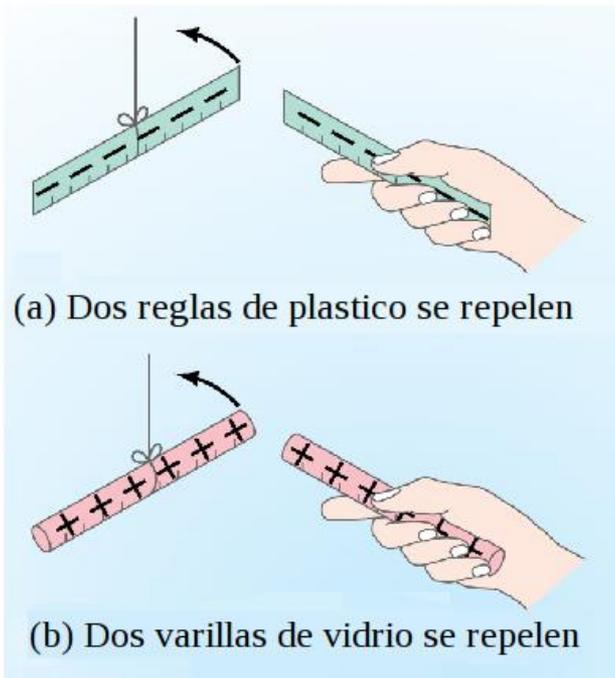
# Carga Eléctrica



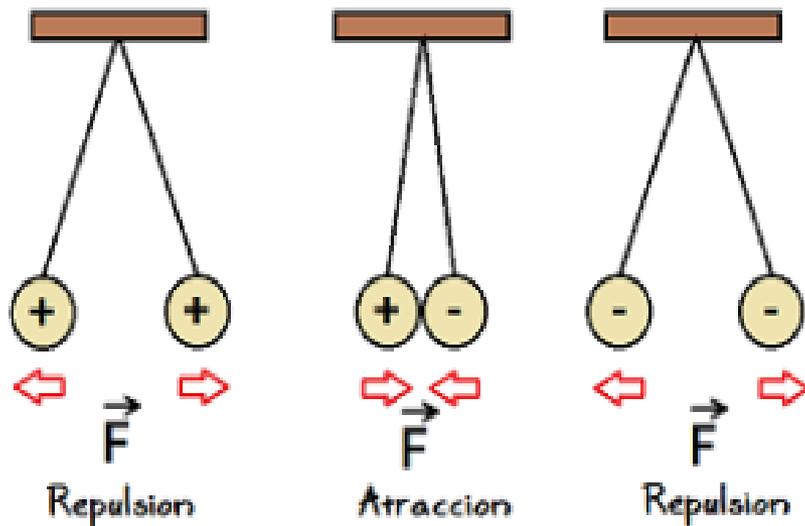
Experimentalmente se puede observar que los objetos cargados ejercen fuerzas entre sí.

Las direcciones de las fuerzas eléctricas cuando las cargas interactúan entre si están dadas por el siguiente principio, llamado **ley de las cargas** o **ley de carga-fuerza**:

**“Cargas iguales se repelen y cargas desiguales se atraen”.**



# Carga Eléctrica

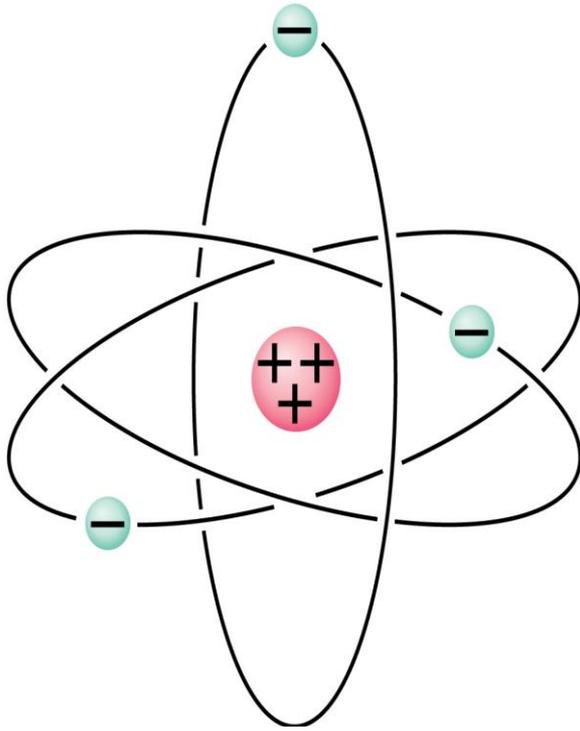


Dos partículas cargadas negativamente o dos partículas cargadas positivamente se repelen entre si, mientras que partículas con cargas contrarias se atraen entre si.

- Las fuerzas repulsiva y atractiva son iguales y opuestas, y actúan sobre objetos diferentes, de acuerdo con **la tercera ley de Newton (acción-reacción)**.
- Puesto que la carga eléctrica (neta) sobre un objeto es el resultado de una deficiencia o de un exceso de electrones, siempre debe ser un múltiplo entero de la carga sobre un electrón. Un signo mas o un signo menos indicará si el objeto tiene una deficiencia o un exceso de electrones.

# Carga Eléctrica en el Átomo

- Las fuerzas eléctricas entre átomos y moléculas son las responsables de mantenerlos unidos para formar líquidos y sólidos.
- Al igual que la masa, la **carga eléctrica** es una propiedad fundamental de la materia.
- La materia está compuesta por átomos.



Los electrones se consideran como partículas en órbita alrededor de un **núcleo**, que contiene la mayoría de la masa del átomo en la forma de **protones** y partículas eléctricamente neutras llamadas **neutrones**.

Un modelo simplificado del átomo lo representa compuesto por un núcleo cargado positivamente, pequeño pero pesado, rodeado por uno o más electrones con carga negativa.

# Carga Eléctrica en el Átomo

- ✓ La carga neta del átomo es **CERO**.

## *Propiedades fundamentales de las cargas eléctricas :*

- ✓ La carga eléctrica esta cuantizada, ésto significa que cualquier valor de carga es un múltiplo de la carga fundamental (carga del electrón).  $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
- ✓ La carga eléctrica **se conserva**. En cualquier proceso físico la carga eléctrica total permanece constante.

Siempre que se genera cierta cantidad de carga en un cuerpo debido a un proceso, se produce una cantidad de carga igual pero del tipo opuesto en otro cuerpo.



# Conductores y Aislantes

Podemos distinguir a las sustancias o materiales por su capacidad para conducir, o transmitir, cargas eléctricas.

## Conductores

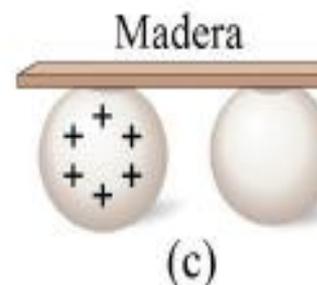
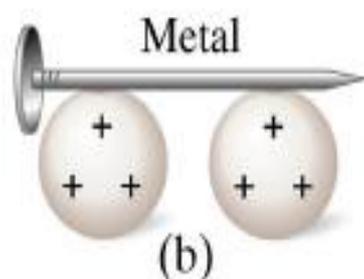
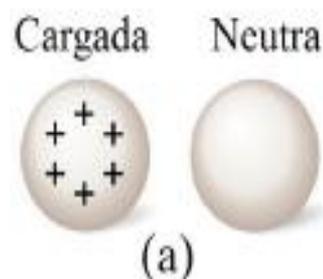
- ✓ Las cargas se mueven libremente
- ✓ Metales

## Aisladores

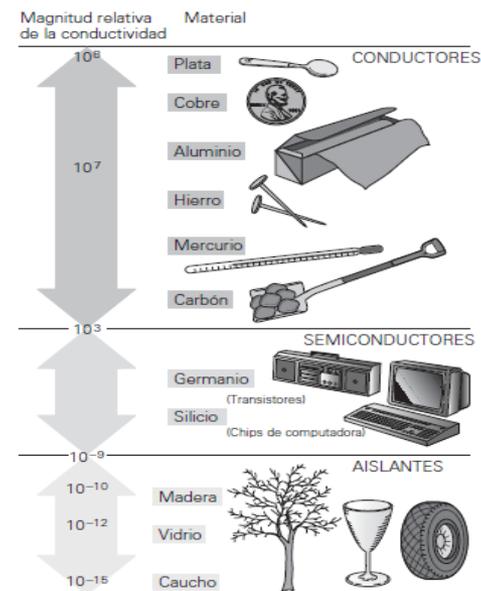
- ✓ Prácticamente no hay flujo de carga
- ✓ La mayoría de los otros materiales

## Semiconductores

- ✓ Según las condiciones es conductor o no
- ✓ Silicio, Germanio

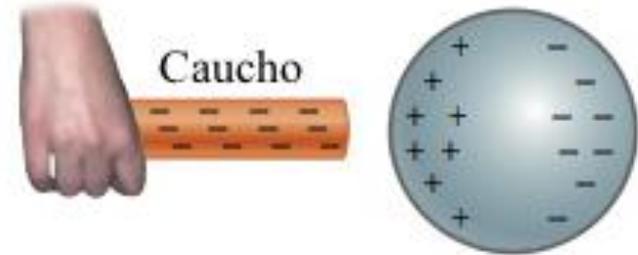


Algunos materiales, particularmente los metales, son buenos conductores de carga eléctrica. Otros, como el vidrio, el caucho y la mayoría de los plásticos, son aislantes, o malos conductores eléctricos.

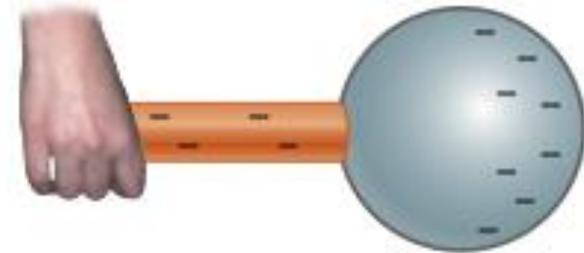


# Carga por Conducción o contacto

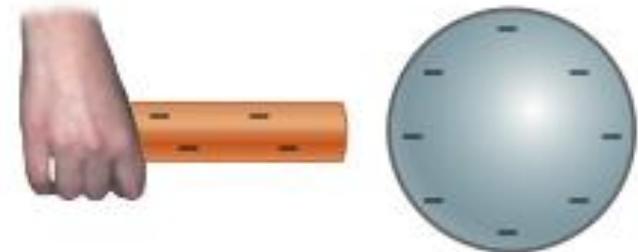
Los metales se cargan por **conducción**. Se conduce carga de un objeto a otro.



(a) Antes



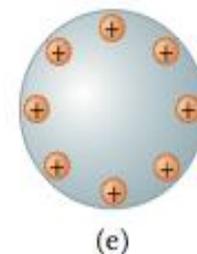
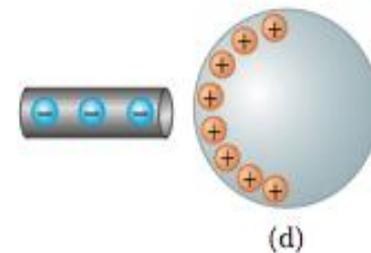
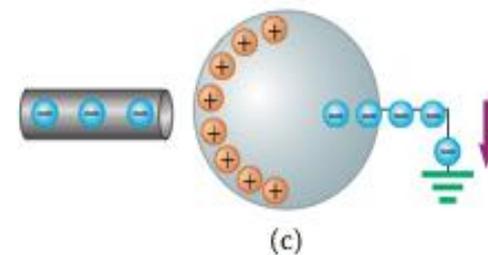
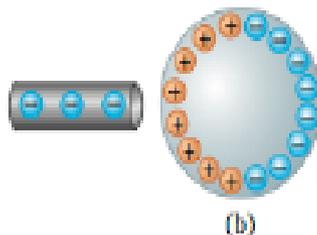
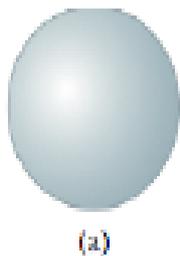
(b) Contacto



(c) Después del contacto

# Carga por inducción

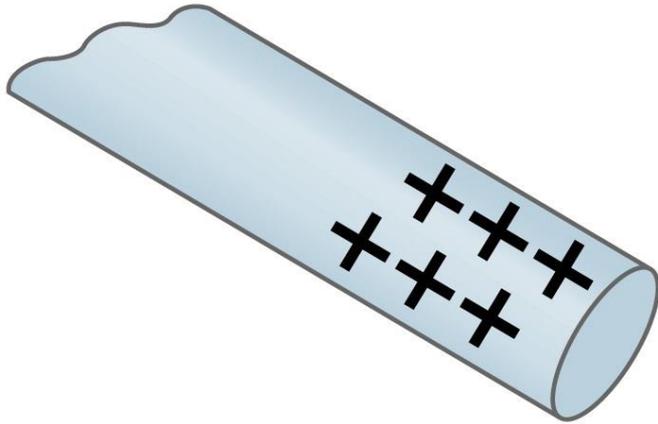
Inducción de cargas: no hay transporte de carga entre objetos. La carga neta sigue siendo cero.



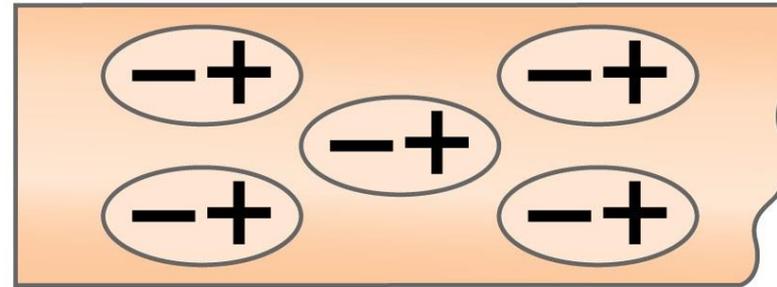
La **inducción** es un proceso de carga de un objeto sin contacto directo. Cuando permitimos que las cargas salgan de un conductor por contacto, decimos que lo estamos *poniendo a tierra*. Durante las tormentas eléctricas se llevan a cabo procesos de carga por *inducción*. La parte inferior de las nubes, de carga negativa, induce una carga positiva en la superficie terrestre.

# Separación de Cargas por Polarización

Los materiales no conductores (aisladores) no se pueden cargar por inducción o conducción; pero experimentan una separación de cargas.

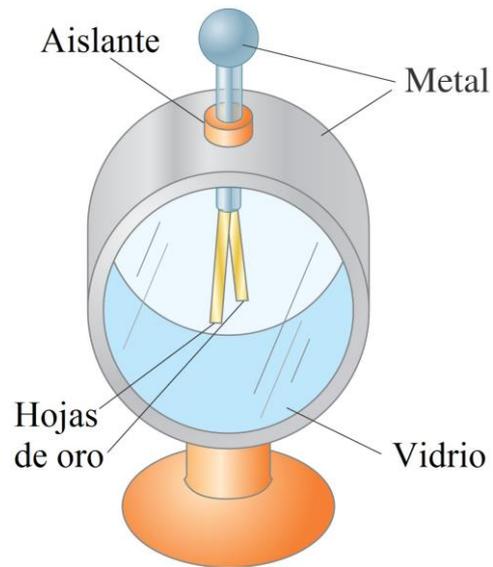


Un objeto cargado que se acerca a un material aislante produce una separación de cargas dentro de las moléculas del aislante.



No conductor

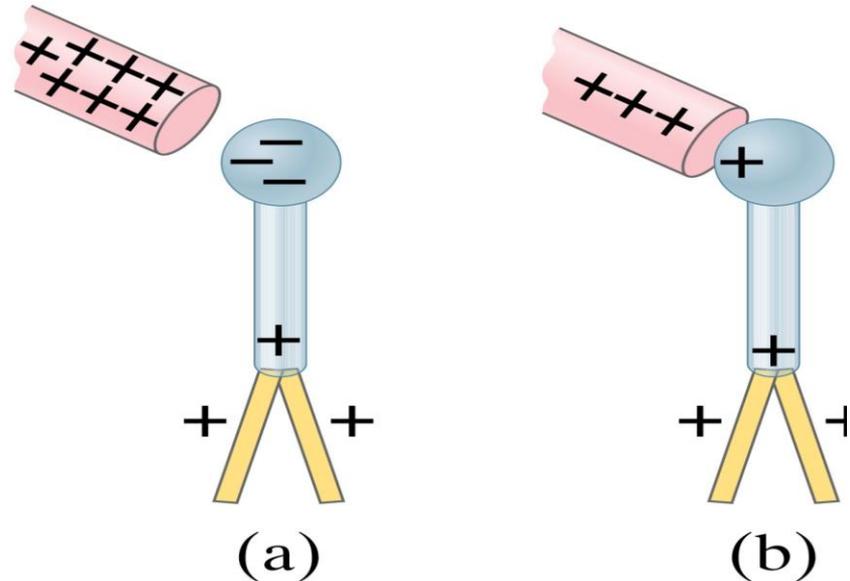
# Electroscopio



El electroscopio se utiliza para detectar carga.

El electroscopio se puede cargar por:

- (a) Inducción
- (b) Conducción.

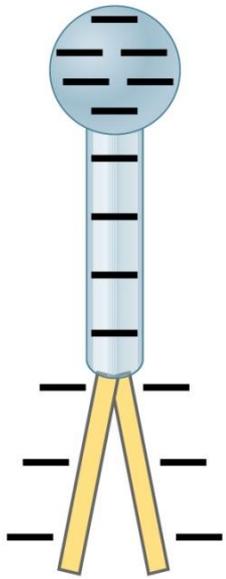


Las dos hojas se repelen entre sí, cuanto mayor sea la cantidad de carga, mayor será la separación entre las hojas.

# Electroscopio

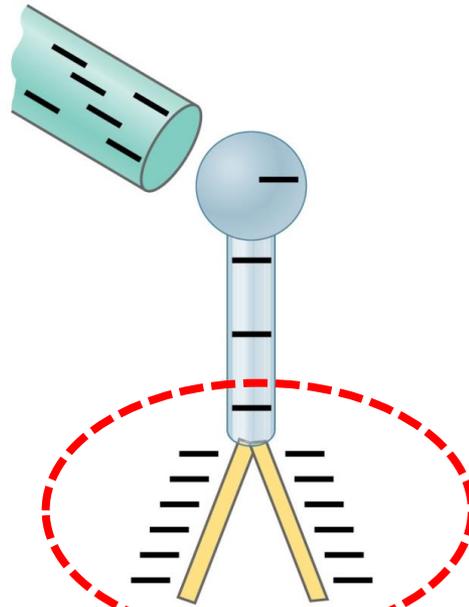
El electroscopio se puede utilizar para determinar el signo de una carga desconocida si primero se carga por conducción.

Acercamos el objeto de carga desconocida



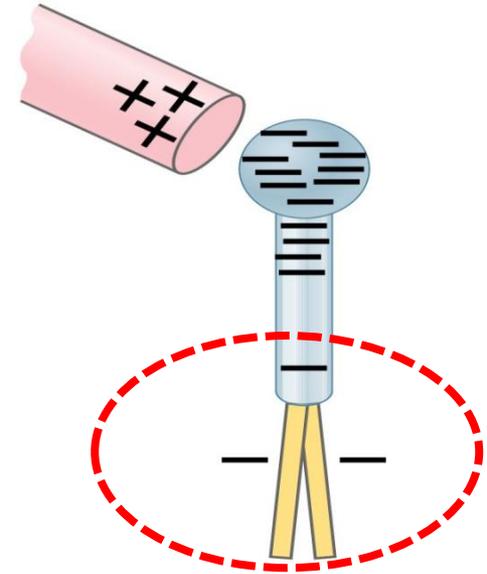
(a)

Por ejemplo, se carga negativamente



(b)

Se inducen más electrones a moverse hacia las hojas y éstas se separarán aún más



(c)

los electrones inducidos fluirán hacia la perilla, dejando las hojas con menos carga negativa, por lo que su separación se reduce

## Fuerzas eléctricas: Ley de Coulomb

Coulomb encontró que La fuerza eléctrica entre dos cargas es:

- Directamente proporcional al producto de las cargas
- Inversamente proporcional al cuadrado de la distancias que las separa.



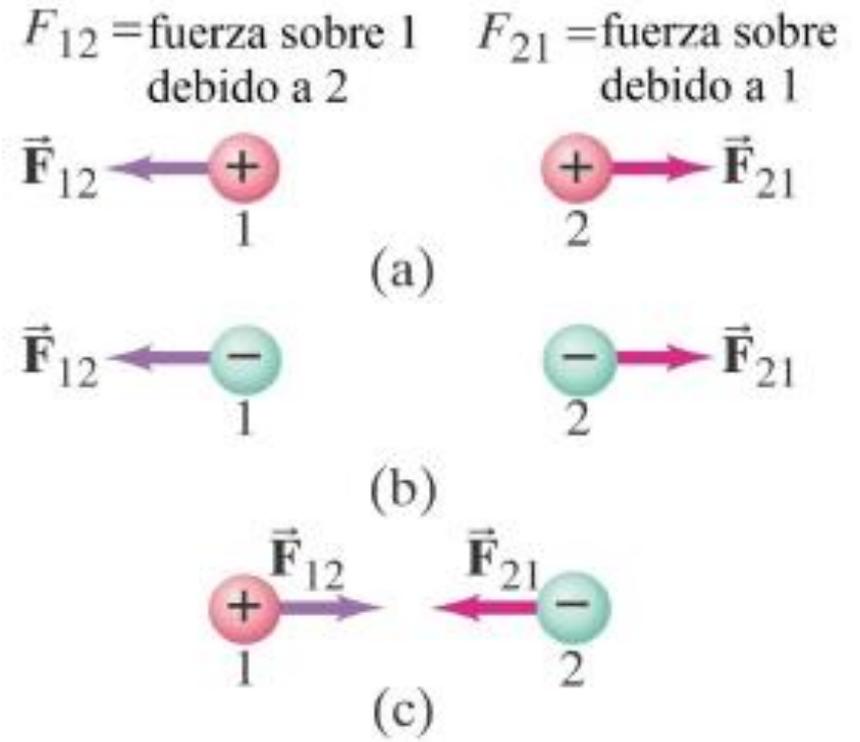
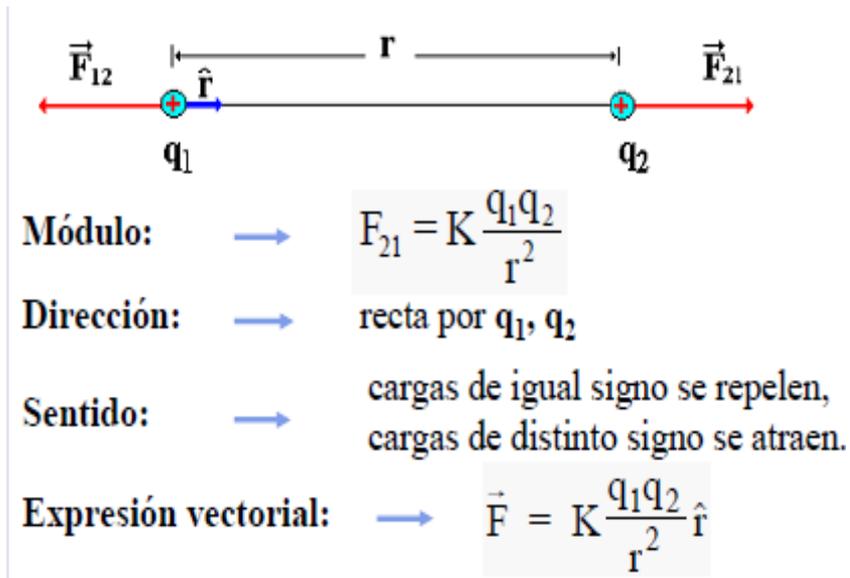
El módulo de la fuerza eléctrica es:

$$F = k \frac{|Q_1||Q_2|}{r^2}$$

donde  $k$  es una constante llamada constante de Coulomb y en el vacío es igual a  $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$  La constante  $k$  se escribe en términos de otra constante,  $\epsilon_0$ , llamada permitividad del vacío.  $k=1/4\pi\epsilon_0$

# Fuerzas eléctricas: Ley de Coulomb

- La ley de Coulomb es estrictamente válida para cargas puntuales.



## Principio de Superposición:

En el caso de varias cargas puntuales, la fuerza neta en cualquier carga es la suma vectorial de las fuerzas que producen las demás cargas.

$$\vec{F}_{\text{net}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$$

# Fuerzas eléctricas: Ley de Coulomb

## ¿Qué carga ejerce una fuerza mayor?

Dos cargas puntuales positivas,  $Q_1 = 50 \mu\text{C}$  y  $Q_2 = 1 \mu\text{C}$ , están separadas por una distancia  $l$ . ¿Cuál es mayor en magnitud, la fuerza que ejerce  $Q_1$  sobre  $Q_2$  o la fuerza que ejerce  $Q_2$  sobre  $Q_1$ ?



De acuerdo con la ley de Coulomb, la fuerza que  $Q_2$  ejerce sobre  $Q_1$  es:

$$F_{12} = k \frac{Q_1 Q_2}{l^2}$$

La fuerza que  $Q_1$  ejerce sobre  $Q_2$  es:

$$F_{21} = k \frac{Q_2 Q_1}{l^2}$$

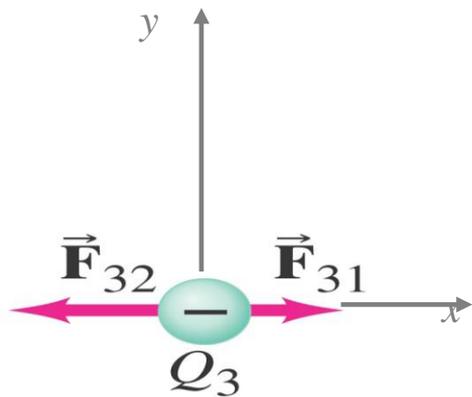
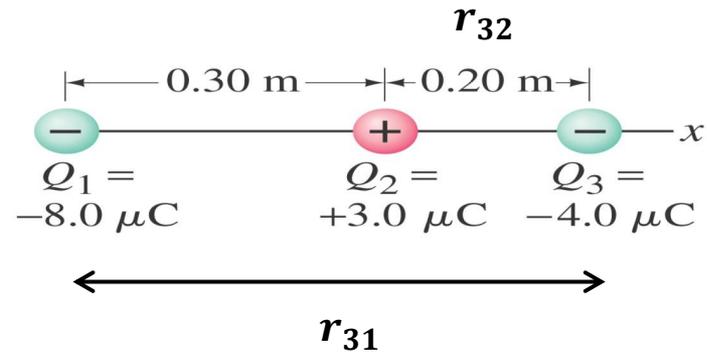
**Las dos fuerzas tienen la misma magnitud**

**La ecuación es simétrica con respecto a las dos cargas, así que  $F_{21} = F_{12}$**

# Fuerzas eléctricas: Ley de Coulomb

Tres cargas en una línea. Tres partículas cargadas están colocadas en una línea como se muestra en la figura. Calcular la fuerza electrostática neta que ejercen las cargas puntuales 1 y 2 sobre la carga puntual 3.

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32}$$



$$\vec{F}_{31} = +k \frac{Q_3 Q_1}{r_{31}^2} \hat{i}$$

$$\vec{F}_{32} = -k \frac{Q_3 Q_2}{r_{32}^2} \hat{i}$$

# Fuerzas eléctricas: Ley de Coulomb

$$\vec{F}_{31} = +k \frac{Q_3 Q_1}{r_{31}^2} \hat{i} = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \frac{(4.0 \times 10^{-6} \text{C})(8.0 \times 10^{-6} \text{C})}{(0.50 \text{m})^2} \hat{i}$$

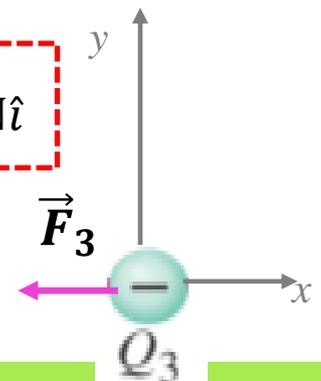
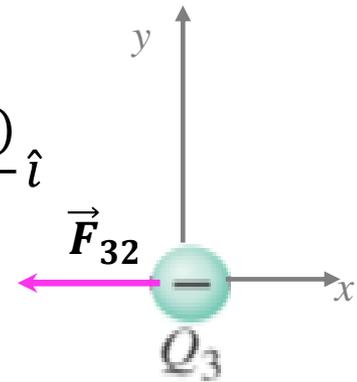
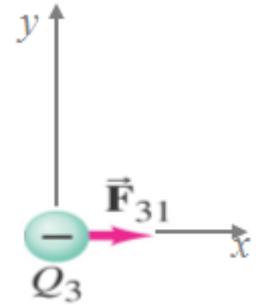
$$\vec{F}_{31} = \frac{288 \times 10^{-3} \text{Nm}^2}{0.25 \text{m}^2} \hat{i} = 1152 \times 10^{-3} \text{N} \hat{i}$$

$$\vec{F}_{32} = -k \frac{Q_3 Q_2}{r_{32}^2} \hat{i} = -9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \frac{(4.0 \times 10^{-6} \text{C})(3.0 \times 10^{-6} \text{C})}{(0.20 \text{m})^2} \hat{i}$$

$$\vec{F}_{32} = -\frac{108 \times 10^{-3} \text{Nm}^2}{0.04 \text{m}^2} \hat{i} = -2700 \times 10^{-3} \text{N} \hat{i}$$

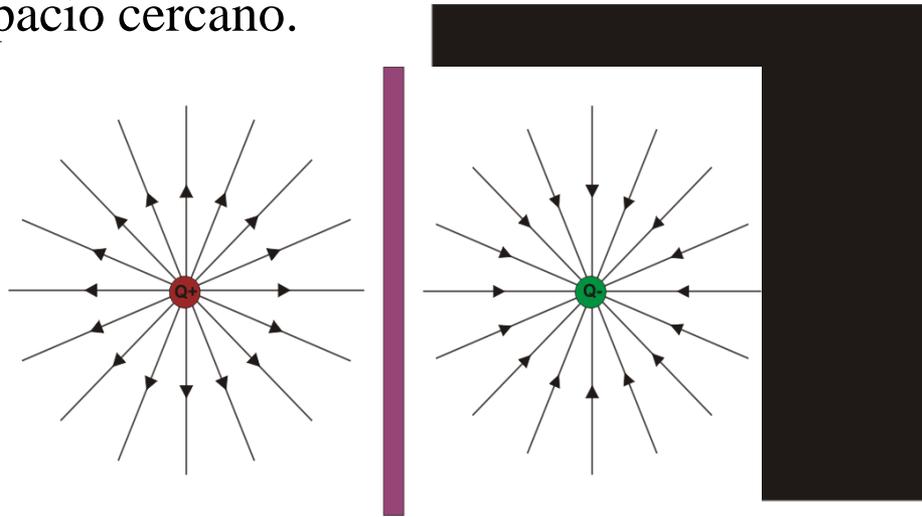
$$\vec{F}_3 = 1152 \times 10^{-3} \text{N} \hat{i} + (-2700 \times 10^{-3} \text{N} \hat{i}) = -1548 \times 10^{-3} \text{N} \hat{i}$$

$$\vec{F}_3 = -1.55 \text{N} \hat{i}$$



# Campo Eléctrico

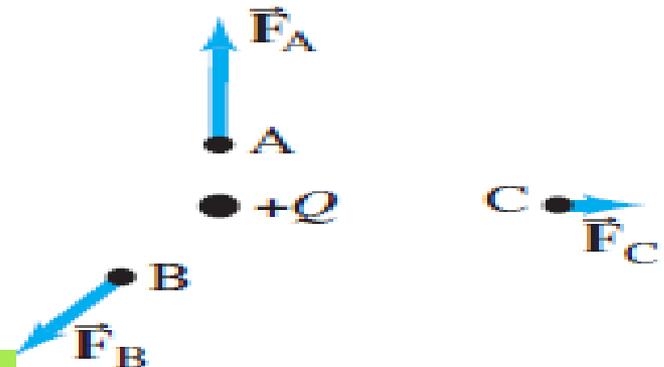
El campo eléctrico representa el *efecto físico* de una configuración particular de cargas sobre el espacio cercano.



La idea central del concepto del campo eléctrico es la siguiente: “una configuración de cargas crea un campo eléctrico en el espacio cercano. Si en este campo eléctrico se coloca otra carga, el campo ejercerá una fuerza eléctrica sobre ella”.



Las cargas crean campos, y éstos, a su vez, ejercen fuerzas sobre otras cargas.



# Campo Eléctrico

El campo eléctrico,  $\vec{E}$ , se define como la fuerza,  $\vec{F}$ , que actúa sobre una pequeña carga de pruebas positiva dividida por el valor de  $q$ :

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{en\ q}}{q}$$

Si el campo eléctrico es generado por una carga  $Q$ , utilizando la Ley de Coulomb concluimos que a una distancia  $r$  de la carga, el campo eléctrico es:

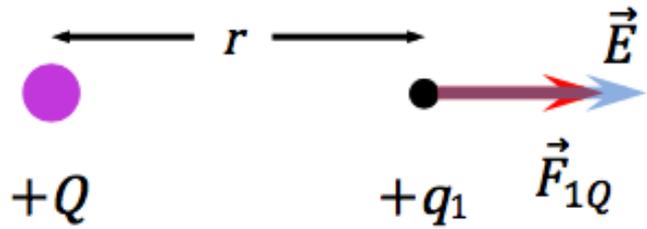
$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

Unidad en SI

$$[E] = \frac{N}{C}$$

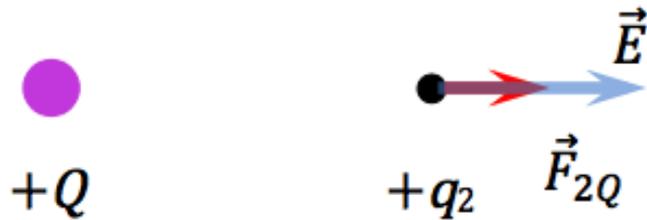
# Campo Eléctrico

Se tiene que  $q_3 > q_1 > q_2$ . Además  $Q$  y  $r$  es igual para los tres sistemas.



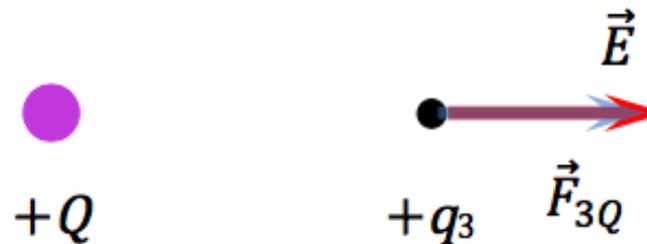
$$F_{1Q} = k \frac{Qq_1}{r^2}$$

$$E = \frac{F_{1Q}}{q_1} = k \frac{Q}{r^2}$$



$$F_{2Q} = k \frac{Qq_2}{r^2}$$

$$E = \frac{F_{2Q}}{q_2} = k \frac{Q}{r^2}$$

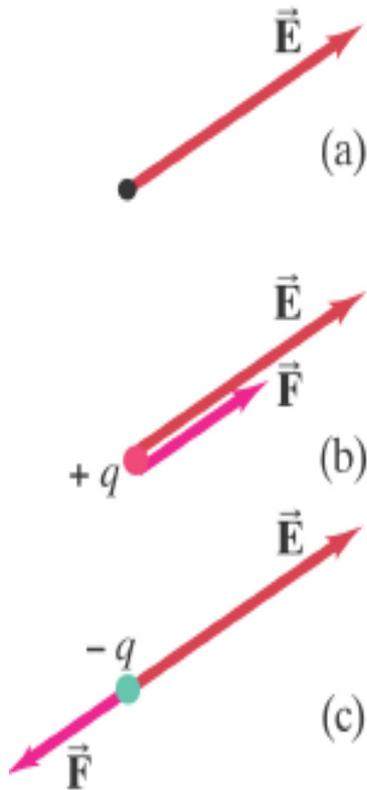


$$F_{3Q} = k \frac{Qq_3}{r^2}$$

$$E = \frac{F_{3Q}}{q_3} = k \frac{Q}{r^2}$$

# Campo Eléctrico

Conocido el campo eléctrico en una punto, la fuerza eléctrica sobre una carga  $q$  colocada en este punto es:



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

Si  $q > 0$ ,  $\vec{F}$  y  $\vec{E}$  apuntan en el mismo sentido

Si  $q < 0$ ,  $\vec{F}$  y  $\vec{E}$  apuntan sentidos opuestos

# Campo Eléctrico

Para un sistema de cargas, se cumple el principio de superposición para el campo eléctrico:

$$\vec{\mathbf{E}} = \vec{\mathbf{E}}_1 + \vec{\mathbf{E}}_2 + \dots$$

Resolución de problemas en electrostática: fuerzas eléctricas y campo eléctrico

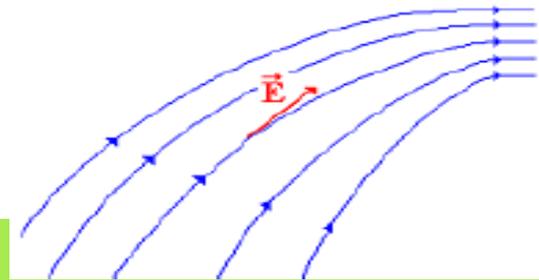
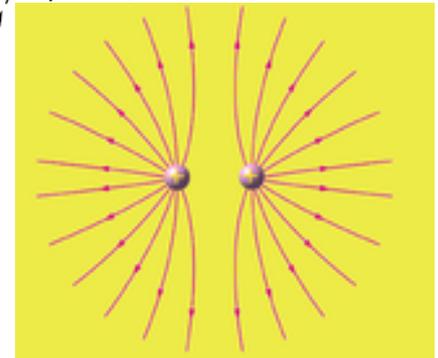
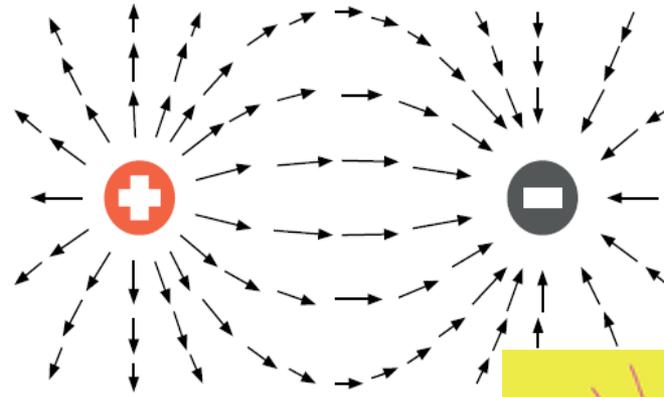
1. Dibujar un esquema; considerando todas las cargas, con sus respectivos signos, y el campo eléctrico y las fuerzas (recordar que son vectores)
2. Calcular la fuerza usando la ley de Coulomb
3. Sumar las fuerzas vectorialmente para obtener el resultado

# Campo Eléctrico

## Líneas de Campo Eléctrico

Las **líneas de campo eléctrico** (o líneas de fuerza), son líneas imaginarias que tienen como objetivo generar una representación visual del campo eléctrico en una región del espacio.

- La densidad de líneas de fuerza es proporcional a la intensidad del campo eléctrico
  - El sentido de la línea, determina el sentido del campo eléctrico
- Las líneas parten de las cargas positivas y arriban a las cargas negativas.
- En un punto de una línea, **la tangente** coincide con la dirección del campo eléctrico en este punto.



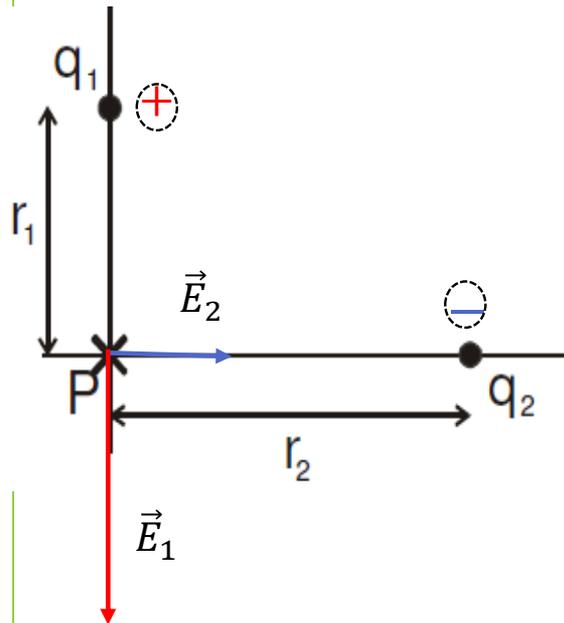
# Campo Eléctrico

En la Figura, se tiene que  $q_0 = -5 \times 10^{-5} \text{ C}$ ,  $q_1 = 4 \times 10^{-5} \text{ C}$ ,  $q_2 = -2 \times 10^{-4} \text{ C}$ ,  $r_1 = 2 \text{ cm}$ ,  $r_2 = 4 \text{ cm}$ , calcule:

- módulo, dirección y sentido del campo eléctrico en **P**;
- módulo, dirección y sentido de la fuerza resultante sobre la carga  $q_0$ , agregada en P.
- Represente en el esquema todas las cantidades vectoriales calculadas.

(a) módulo, dirección y sentido del campo eléctrico en **P**;

$$\vec{E}_P = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$



$$\vec{E}_1 = -k \frac{q_1}{r_1^2} \hat{j} = -9 \times 10^9 \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{4 \times 10^{-5} \text{ C}}{(2 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \hat{j} = -9 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{C}} \hat{j}$$

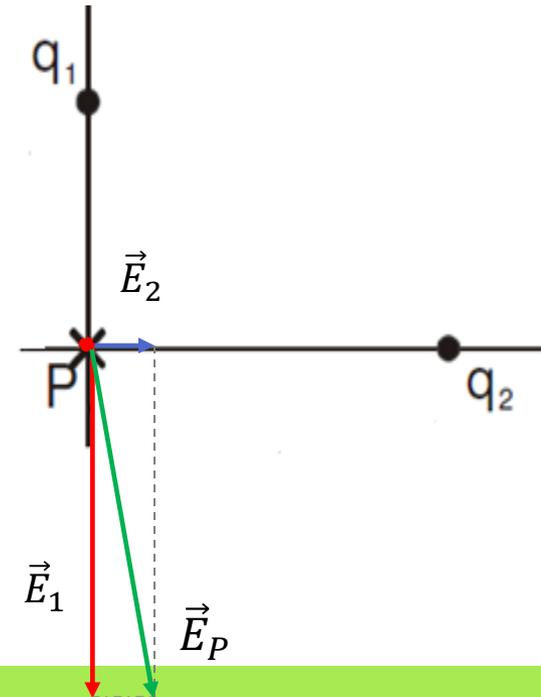
$$\vec{E}_2 = k \frac{q_2}{r_2^2} \hat{i} = 9 \times 10^9 \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{2 \times 10^{-5} \text{ C}}{(4 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \hat{i} = 1.12 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{C}} \hat{i}$$

# Campo Eléctrico

$$\vec{E}_P = 1.12 \times 10^8 \frac{N}{C} \hat{i} - 9 \times 10^8 \frac{N}{C} \hat{j}$$

$$|\vec{E}_P| = \sqrt{\left(1.12 \times 10^8 \frac{N}{C}\right)^2 + \left(-9 \times 10^8 \frac{N}{C}\right)^2} = 9.1 \times 10^8 \frac{N}{C}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{-9 \times 10^8 \frac{N}{C}}{1.12 \times 10^8 \frac{N}{C}}\right) = -83^\circ = 277^\circ$$



# Campo Eléctrico

(b) módulo, dirección y sentido de la fuerza resultante sobre la carga  $q_0$ , agregada en P.

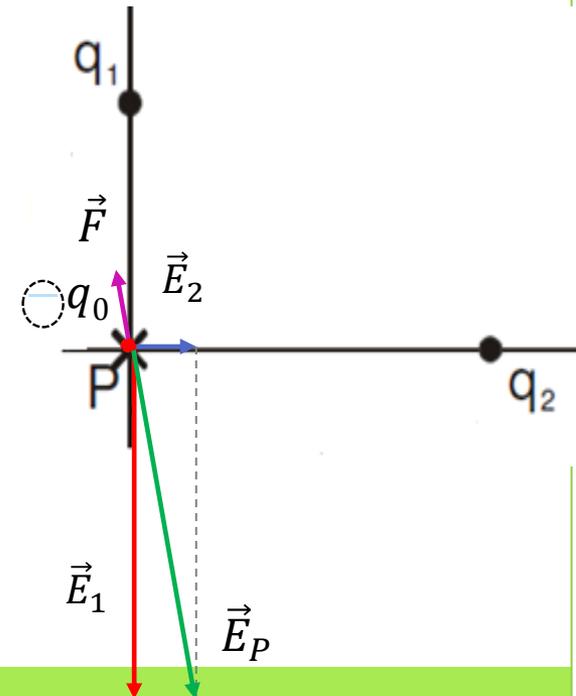
$$\vec{F} = q_0 \vec{E}_P \quad \longrightarrow \quad \vec{F} = q_0 \left( 1.12 \times 10^8 \frac{N}{C} \hat{i} - 9 \times 10^8 \frac{N}{C} \hat{j} \right)$$

$$\vec{F} = -5 \times 10^{-5} C \left( 1.12 \times 10^8 \frac{N}{C} \hat{i} - 9 \times 10^8 \frac{N}{C} \hat{j} \right)$$

$$\vec{F} = -5.6 \times 10^3 N \hat{i} + 45 \times 10^3 N \hat{j}$$

$$|\vec{F}| = \sqrt{\left( -5.6 \times 10^3 \frac{N}{C} \right)^2 + \left( 45 \times 10^3 \frac{N}{C} \right)^2} = 45 \times 10^3 N$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{45 \times 10^3 \frac{N}{C}}{-5.6 \times 10^3 \frac{N}{C}} \right) = -83^\circ = 97^\circ$$

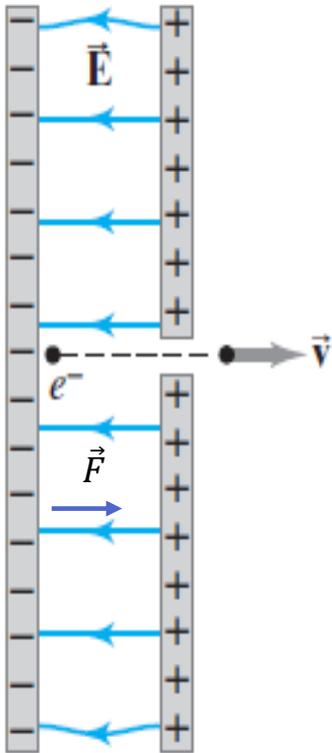


# Movimiento de una partícula cargada en un campo eléctrico

Si un objeto con carga eléctrica  $q$  está en un punto del espacio donde el campo eléctrico es  $\vec{E}$ , la fuerza sobre el objeto está dada por:

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

## Electrón acelerado por un campo eléctrico



Un electrón (masa  $m = 9.1 \times 10^{-31}$  kg) es acelerado en el campo eléctrico uniforme ( $E = 2.0 \times 10^4$  N/C) entre dos placas cargadas paralelas. La separación entre las placas es de 1.5 cm. El electrón es acelerado a partir del reposo cerca de la placa negativa y pasa a través de un pequeño agujero en la placa positiva ¿Con qué velocidad deja el agujero?

# Movimiento de una partícula cargada en un campo eléctrico

Podemos obtener la velocidad de electrón usando las ecuaciones cinemáticas, luego de encontrar su aceleración a partir de la segunda ley de Newton,  $F = ma$ .



La magnitud de la fuerza sobre el electrón  $F = qE = ma \rightarrow a = \frac{qE}{m}$

$$a = \frac{qE}{m} = \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{C})(2.0 \times 10^4 \text{N/C})}{9.1 \times 10^{-31} \text{kg}} = 0.35 \times 10^{16} \text{m/s}^2$$

Viaja una distancia  $x = 1.5 \times 10^{-2} \text{m}$

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \rightarrow v = \sqrt{2ax} = \sqrt{2(0.35 \times 10^{16} \text{m/s}^2)(1.5 \times 10^{-2} \text{m})}$$

$$v = 1 \times 10^7 \text{m/s}$$

# Potencial Eléctrico

La fuerza eléctrica, del mismo modo que la fuerza gravitatoria, es una fuerza conservativa. Siguiendo el análisis del problema gravitacional, podemos definir la **Energía Potencial Eléctrica** de un sistema de cargas.

La Energía Potencial Eléctrica en el caso de dos cargas puntuales separadas una distancia  $r$  es:

$$U_E = k \frac{qQ}{r}$$

Unidad: *Joule*

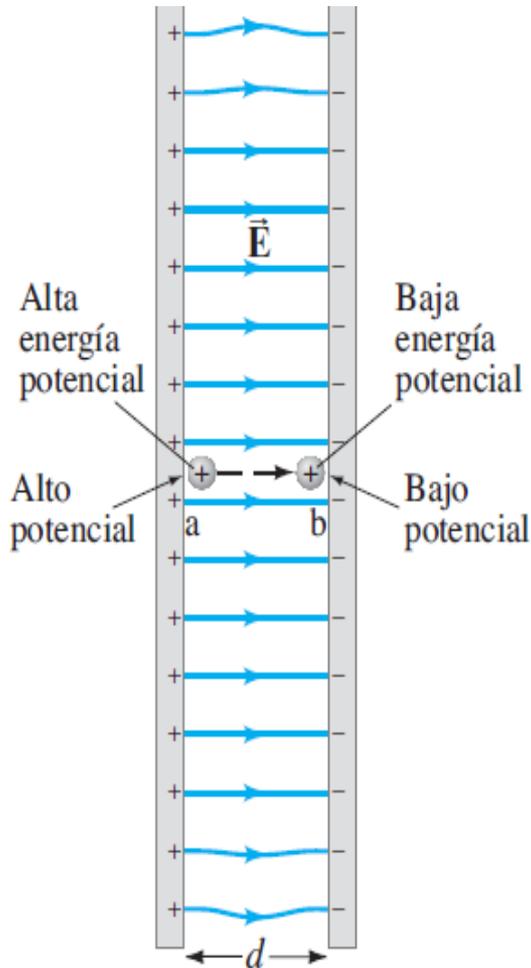
Se define **Potencial Eléctrico (V)** debido a la carga  $Q$  en el punto  $P$  (donde se encuentra la carga de prueba  $q$ ) a la **Energía Potencia Eléctrica** por unidad de carga:

$$V = \frac{U_E}{q} = k \frac{Q}{r}$$

Unidad: **Volt** =  $\frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}}$

# Potencial Eléctrico

Al igual que el caso del potencial gravitatorio, sólo interesan los cambios en el potencial eléctrico (V). Sólo la diferencia en el potencial, entre dos puntos a y b, es susceptible de ser medida.



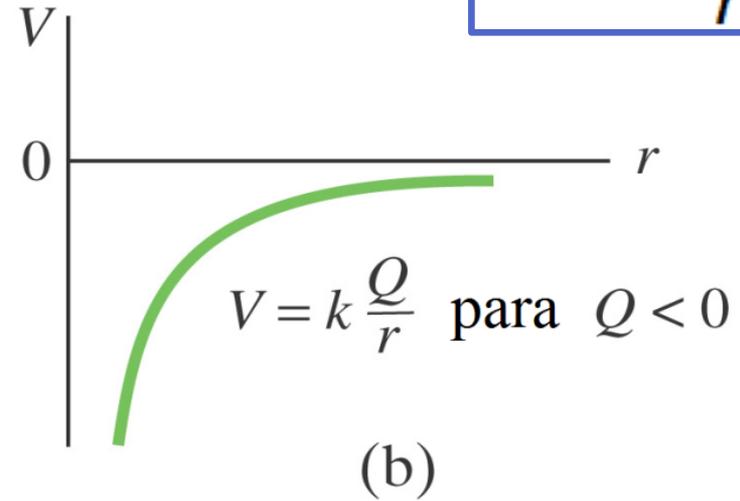
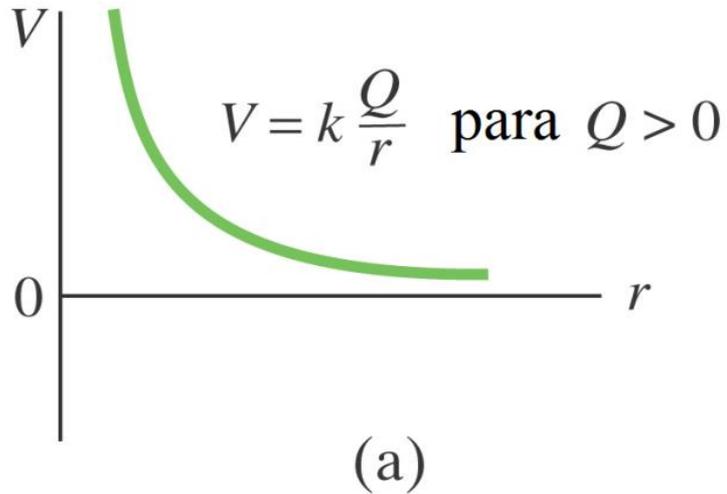
Cuando la fuerza eléctrica efectúa trabajo positivo sobre la carga, la energía cinética aumenta y la energía potencial disminuye. La diferencia en energía potencial,  $U_b - U_a$ , es igual al negativo del trabajo,  $W_{ba}$ , que realiza el campo eléctrico para mover la carga desde  $a$  hasta  $b$ ; por lo mismo, la diferencia de potencial  $V_{ba}$  es

$$V_{ba} = \Delta V = V_b - V_a = \frac{U_b - U_a}{q} = \frac{-W_{ba}}{q}$$

# Potencial Eléctrico

El potencial eléctrico debido a una carga puntual:

$$V = k \frac{Q}{r}$$



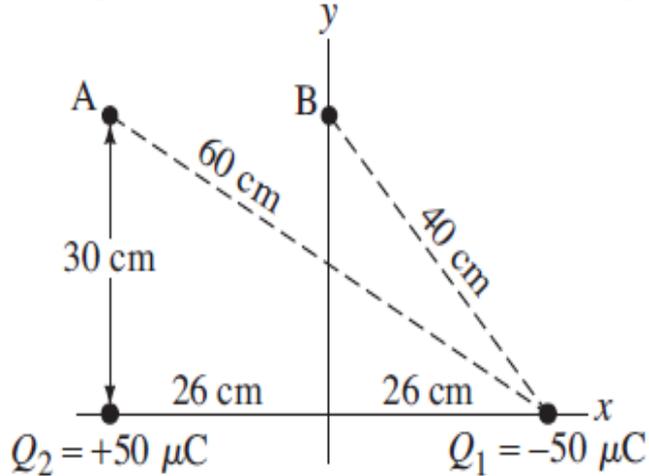
El potencial en un punto debido a un conjunto  $n$  de cargas puntuales es:

$$V = \sum_i V_i = \sum_i k \frac{Q_i}{r_i}$$

donde  $r_i$  es la distancia entre la carga  $Q_i$  y el punto donde se calcula el potencial.

# Potencial Eléctrico

**Potencial cerca de dos cargas.** Calcule el potencial eléctrico a) en el punto A de la figura debido a las dos cargas que se muestran y b) en el punto B.



El potencial total en el punto A (o en el punto B) es la suma de los potenciales en ese punto, debido a cada una de las cargas  $Q_1$  y  $Q_2$ .

No tenemos que preocuparnos por la dirección, pues el potencial eléctrico es *una cantidad escalar*. Habrá que tener cuidado con los signos de las cargas.

a) Sumamos los potenciales en A debidos a cada una de las cargas  $Q_1$  y  $Q_2$ .

$$V_A = V_{A2} + V_{A1} = k \frac{Q_2}{r_{A2}} + k \frac{Q_1}{r_{A1}}$$

$$V_A = 9 \times 10^9 \text{N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{50 \times 10^{-6} \text{C}}{30 \times 10^{-2} \text{m}} + 9 \times 10^9 \text{N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{(-50 \times 10^{-6} \text{C})}{60 \times 10^{-2} \text{m}} = 15 \times 10^5 \text{V} - 7.5 \times 10^5 \text{V}$$

$$V_A = 7.5 \times 10^5 \text{V}$$

b) En el punto B,  $r_{1B} = r_{2B} = 40 \text{ cm}$  y  $Q_2 = -Q_1$

$$V_B = V_{B2} + V_{B1} = k \frac{Q_2}{r_{B2}} + k \frac{Q_1}{r_{B1}} = k \frac{Q_1}{r_{B1}} - k \frac{Q_1}{r_{B1}} = 0$$

## Resumen

- ✓ Existen dos tipos de cargas: positivas y negativas.
- ✓ La carga se conserva.
- ✓ Conductores: los electrones se mueven libremente.
- ✓ Aisladores: los electrones prácticamente no se mueven.
- ✓ Los conductores se pueden cargar por conducción o inducción

## Resumen

- ✓ Ley de Coulomb para cargas puntuales:

$$F = k \frac{|Q_1||Q_2|}{r^2}$$

- ✓ Módulo del campo Eléctrico para cargas puntuales

$$E = k \frac{|Q|}{r^2}$$

- ✓ El campo eléctrico se puede representar por líneas.
- ✓ Potencial Eléctrico: es energía por unidad de carga
- ✓ Potencial eléctrico de una carga puntual

$$V = k \frac{Q}{r}$$

## Apéndice: Notación científica

- La notación científica nos permite escribir números muy grandes o muy pequeños de forma abreviada.
- Esta notación consiste simplemente en multiplicar por una **potencia de base 10** con exponente positivo o negativo.

**Exponente Positivo:  $10^n$**  Si  $n$  es positivo, la potencia de base 10 con exponente  $n$ , es decir,  $10^n$ , es el número formado por la cifra 1 seguida de  $n$  ceros.

**Ejemplo:**  $10^1 = 10$   
 $10^2 = 100$                       El exponente indica el número de 0's.  
 $10^3 = 1000$   
 $10^7 = 10000000$

**Exponente Negativo:  $10^{-n}$**  la potencia de base 10 con exponente  $-n$ , es decir,  $10^{-n}$ , es el número decimal 0,00...01 siendo  $n$  el número total de ceros.

**Ejemplo:**  $10^{-1} = 0,1$                       El exponente indica el número de 0's, contabilizando también  
 $10^{-2} = 0,01$                               el cero situado a la izquierda de la coma.  
 $10^{-3} = 0,001$   
 $10^{-7} = 0,0000001$

## Apéndice: Notación científica

Al multiplicar un número por la potencia  $10^n$  (con **exponente positivo**) se desplaza la coma hacia la **derecha** tantas posiciones como indica el exponente.

**Ejemplo:**

$$12,345 \cdot 10^2 = 1234,5$$
$$102,305 \cdot 10^3 = 102305$$
$$321 \cdot 10^2 = 32100$$
$$1,789 \cdot 10^5 = 178900$$

Al multiplicar un número por la potencia  $10^{-n}$  (con **exponente negativo**) se desplaza la coma hacia la **izquierda** tantas posiciones como indica el exponente (al cambiarle el signo).

**Ejemplo:**

$$12,345 \cdot 10^{-2} = 0,12345$$
$$102,305 \cdot 10^{-3} = 0,102305$$
$$321 \cdot 10^{-2} = 3,21$$
$$1789 \cdot 10^{-5} = 0,01789$$

Si no hay suficientes cifras para desplazar la coma, se añaden 0's (a la izquierda). Esto ocurre en el primer, segundo y cuarto número del ejemplo.

# Apéndice: Notación científica

## Suma y resta

Siempre que las potencias de 10 sean las mismas, se deben sumar los coeficientes (o restar si se trata de una resta), dejando la potencia de 10 con el mismo grado. En caso de que no tengan el mismo exponente, debe convertirse el coeficiente, multiplicándolo o dividiéndolo por 10 tantas veces como se necesite para obtener el mismo exponente.

Ejemplos:

$$2 \times 10^5 + 3 \times 10^5 = 5 \times 10^5$$

$$3 \times 10^5 - 0.2 \times 10^5 = 2.8 \times 10^5$$

$$2 \times 10^4 + 3 \times 10^5 - 6 \times 10^3 = (\text{tomamos el exponente 5 como referencia}) \\ = 0.2 \times 10^5 + 3 \times 10^5 - 0.06 \times 10^5 = 3.14 \times 10^5$$

## Multiplicación

Para multiplicar cantidades escritas en notación científica se multiplican los coeficientes y se suman los exponentes.

$$\text{Ejemplo: } (4 \times 10^{12}) \times (2 \times 10^5) = 8 \times 10^{17}$$

## División

Para dividir cantidades escritas en notación científica se dividen los coeficientes y se restan los exponentes

$$\text{Ejemplo: } \frac{48 \times 10^{10}}{12 \times 10^1} = 4 \times 10^9$$

## Potenciación

Se eleva el coeficiente a la potencia y se multiplican los exponentes. Ejemplo:  $(3 \times 10^6)^2 = 9 \times 10^{12}$ .

## Radicación

Se debe extraer la raíz del coeficiente y se divide el exponente por el índice de la raíz.

$$\text{Ejemplos: } \sqrt{9 \times 10^{26}} = 3 \times 10^{13}; \quad \sqrt[3]{27 \times 10^{12}} = 3 \times 10^4$$

