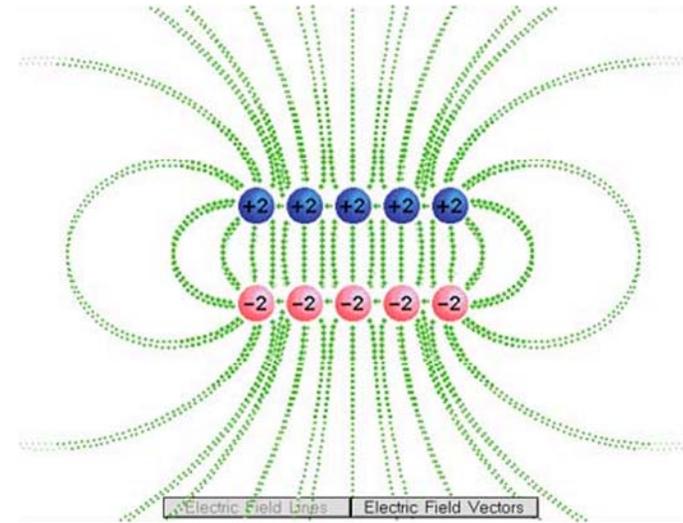


# CAMPO ELÉCTRICO EN CONDICIONES ESTÁTICAS

## Contenido

- 1.- Naturaleza del electromagnetismo.
- 2.- Ley de Coulomb.
- 3.- Campo eléctrico de carga puntual.
- 4.- Campo eléctrico de línea de carga.
- 5.- Potencial eléctrico diferencial.



**Objetivo.-** Al finalizar el tema, el estudiante será capaz de explicar la naturaleza del electromagnetismo e identificar las leyes fundamentales que describen el comportamiento de los campos eléctricos en condiciones estáticas.

Última modificación:  
1 de agosto de 2010

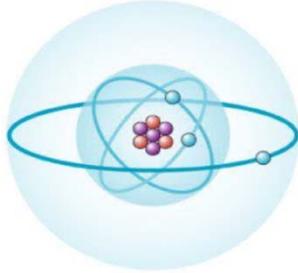
Tema 1 de  
**CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS**  
Edison Coimbra G.

# 1.- Naturaleza del electromagnetismo

El **Universo** está formado por 4 fuerzas.

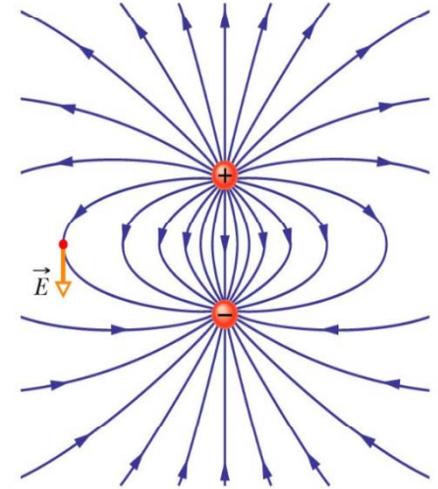
1

La **fuerza nuclear**. La más fuerte. Limitada al **núcleo** de los átomos.



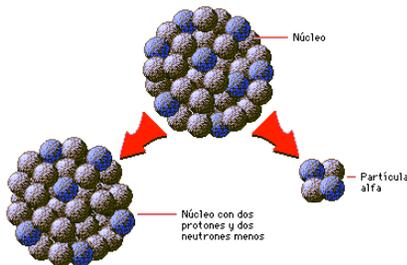
2

La **fuerza electromagnética** (eléctrica + magnética). 100 veces más débil que la nuclear. Dominante en sistemas microscópicos como **átomos** y **moléculas**.



3

La **fuerza de interacción débil**. Millones de veces más débil que la nuclear. Es la interacción responsable de la desintegración de **partículas radiactivas**.



© Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

4

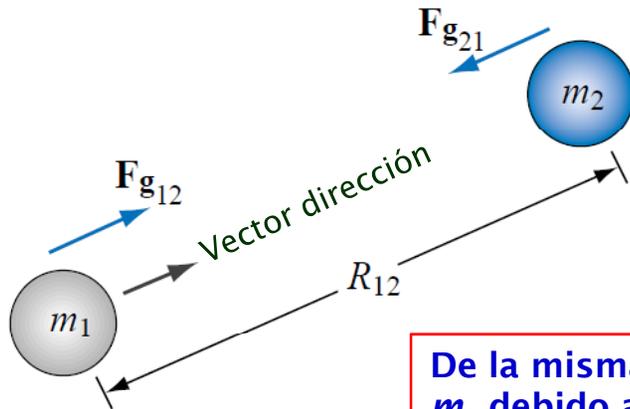
La **fuerza gravitacional**. Es la más débil de todas. Es la dominante en sistemas macroscópicos como el **sistema solar**.



# Fuerza gravitacional

## Una analogía útil

La **Ley de la Gravedad de Newton** establece que los objetos con masa experimentan entre sí una **fuerza de atracción** debido a la gravedad.



$$F_{g21} = -G \frac{m_1 m_2}{R_{12}^2}$$

De dirección contraria al vector dirección

$F_{g21}$  = fuerza gravitatoria que actúa sobre  $m_2$  debido a  $m_1$ , en **N**.  
 $G$  = constante de gravitación universal,  $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ .  
 $m_1, m_2$  = masas, en **kg**.  
 $R_{12}$  = distancia radial entre masas, en **m**.

De la misma forma,  $F_{g12}$  es la fuerza que actúa sobre la masa  $m_1$  debido a la atracción gravitacional de la masa  $m_2$

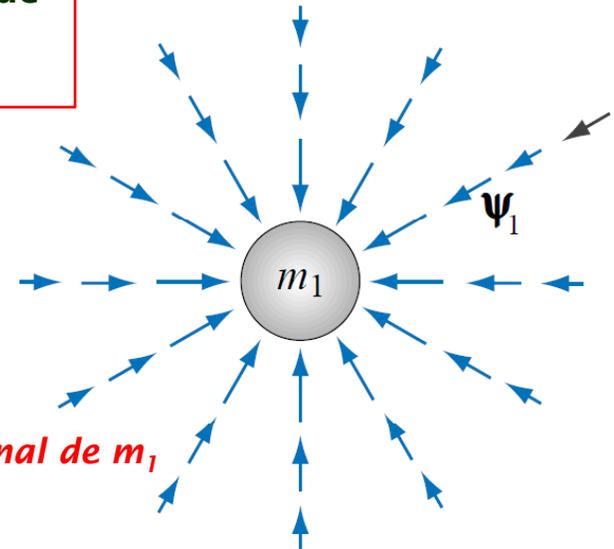
$$F_{g12} = -F_{g21}$$

2 objetos **no necesitan** estar en **contacto** para sentir la fuerza de atracción del otro; sino que es una acción directa a distancia. Este es el **concepto de campo**.

Un objeto de masa  $m_1$ , induce un **campo gravitacional**  $\psi_1$  que no proviene físicamente del objeto, pero su influencia existe en **todos los puntos del espacio**. Si se acerca otro objeto  $m_2$  a una **distancia**  $R_{12}$  de  $m_1$ , sentirá una **fuerza**  $F_{g21}$  actuando sobre él.

$$\psi_1 = \frac{F_{g21}}{m_2}$$

*Campo gravitacional de  $m_1$*



## 2.- Ley de Coulomb

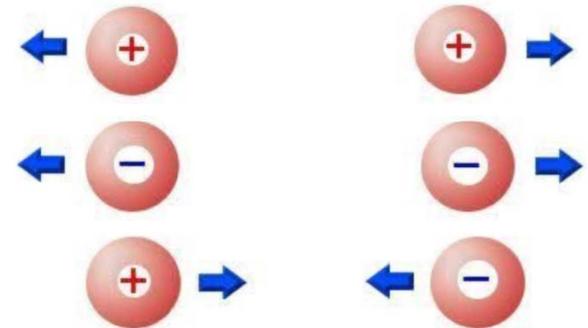
La **fuerza eléctrica** es similar a la **fuerza gravitacional**, con la diferencia de que la fuente del campo gravitacional es la masa y la del campo eléctrico es la **carga eléctrica**.

La **carga eléctrica** es una propiedad intrínseca en los **protones** y **electrones**. Se manifiesta mediante **atracciones** y **repulsiones**. La interacción entre partículas cargadas genera la **fuerza eléctrica**.

Por definición, los **protones** tienen carga **positiva** y los **electrones** **negativa**.

La **unidad de carga de un electrón** es:

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



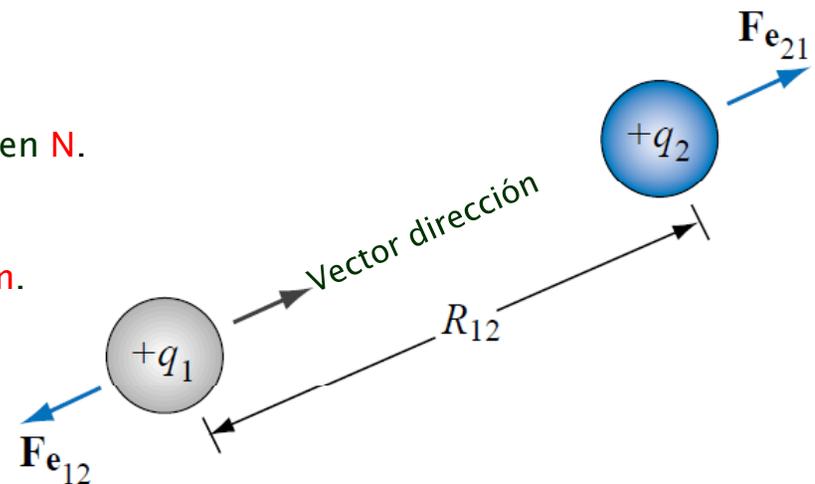
La **Ley de Coulomb** (*Charles Coulomb, 1776*) establece que una carga  $+q_2$  a una distancia  $R_{12}$  de una carga  $+q_1$ , experimenta, en el espacio libre, una fuerza  $F_{e21}$ .

$$F_{e21} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 R_{12}^2}$$

- $F_{e21}$  = fuerza eléctrica que actúa sobre  $q_2$  debido a  $q_1$ , en N.
- $q_1, q_2$  = cargas eléctricas, en C.
- $R_{12}$  = distancia radial entre cargas, en m.
- $\epsilon_0$  = permitividad eléctrica en el vacío,  $8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ .

De la misma forma,  $F_{e12}$  es la fuerza que actúa sobre la carga  $+q_1$  debido a la carga  $+q_2$

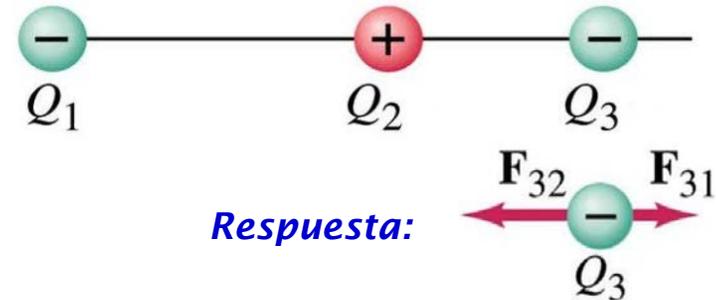
$$F_{e12} = -F_{e21}$$



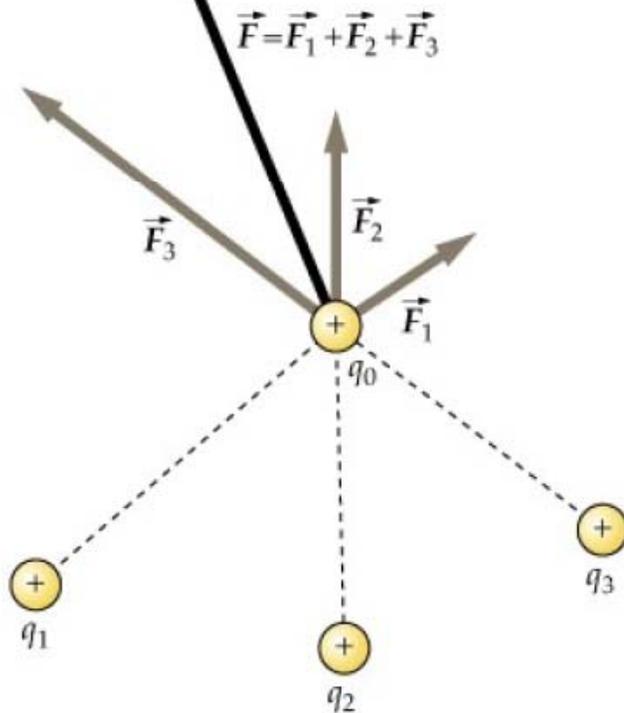
# El principio de superposición

La **fuerza neta** sobre cualquier carga es la **suma vectorial** de todas las fuerzas que actúan sobre ella.

**Ejemplo 1.-** ¿Cuál es la **fuerza neta** sobre  $Q_3$  producida por  $Q_1$  y  $Q_2$ ?



**Ejemplo 2.-** Fuerza neta  $F$  sobre  $q_0$  producida por  $q_1$ ,  $q_2$  y  $q_3$ .



## Prefijos de múltiplos y submúltiplos

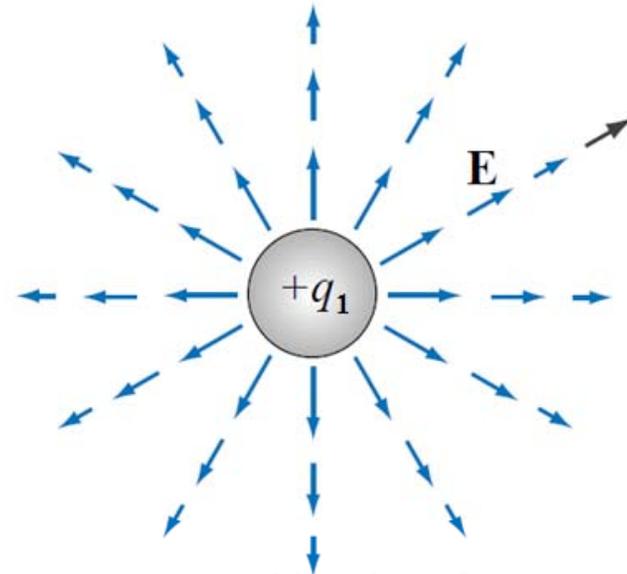
Prefix	Symbol	Magnitude
exa	E	$10^{18}$
peta	P	$10^{15}$
tera	T	$10^{12}$
giga	G	$10^9$
mega	M	$10^6$
kilo	k	$10^3$
milli	m	$10^{-3}$
micro	$\mu$	$10^{-6}$
nano	n	$10^{-9}$
pico	p	$10^{-12}$
femto	f	$10^{-15}$
atto	a	$10^{-18}$

### 3.- Campo eléctrico de carga puntual

En forma similar al campo gravitacional, se dice que existe un **campo eléctrico  $E$**  en la región del espacio que rodea a un objeto cargado.

La existencia del **campo  $E$**  es una propiedad de su fuente. Se puede decir que **cada electrón** “viene” con su **propio campo  $E$** .

Cuando otro objeto cargado  $+q_2$  ingresa al campo eléctrico  $E$  de  $+q_1$ , una fuerza eléctrica  $F_{e21}$  actúa sobre él.



*Campo eléctrico de  $+q_1$*

*Esta relación se expresa así:*

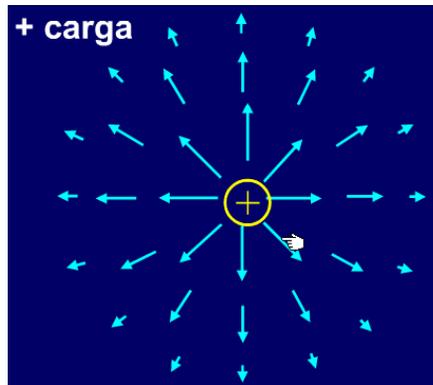
$$E = \frac{F_{e21}}{q_2} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 R_{12}^2}$$

- $E$  = campo eléctrico generado por  $q_1$ , en N/C ó V/m.
- $F_{e21}$  = fuerza eléctrica que actúa sobre  $q_2$  debido a  $q_1$ , en N.
- $q_1, q_2$  = cargas eléctricas, en C.
- $R_{12}$  = distancia radial entre cargas, en m.
- $\epsilon_0$  = permitividad eléctrica en el vacío,  $8,85 \times 10^{-12}$  F/m.

# Campo eléctrico de cargas puntuales

## Formas de visualizar el campo E:

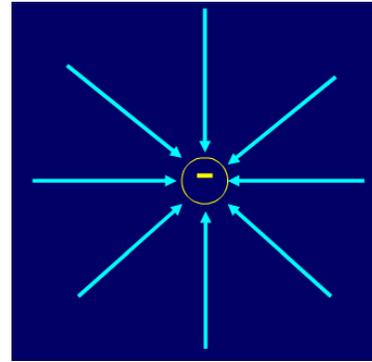
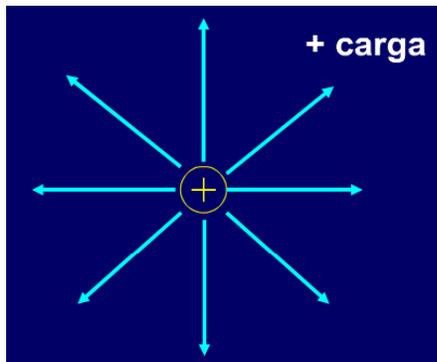
### Mapa vectorial



La **dirección** de la flecha indica la **dirección** del campo en cada punto en el espacio.

La **longitud** de la flecha es proporcional a la **intensidad** del campo en cada punto en el espacio.

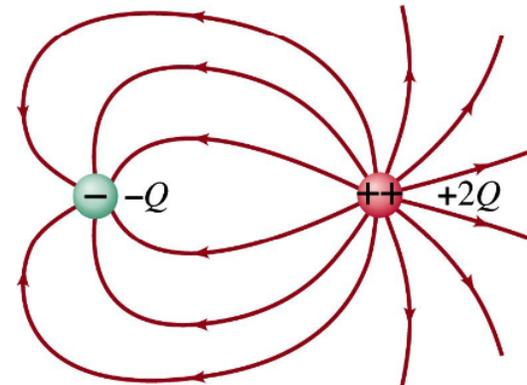
### Líneas de campo



Las líneas **salen** de las cargas **positivas** y **entran** a las **negativas**.

El **número de líneas** que salen/entran a una carga es **proporcional** a la cantidad de **carga**.

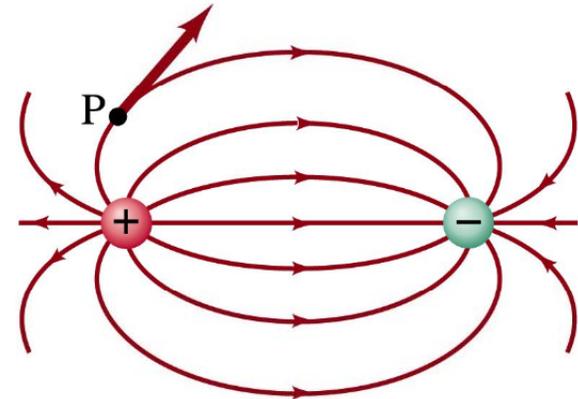
Las líneas de campo nunca se cruzan



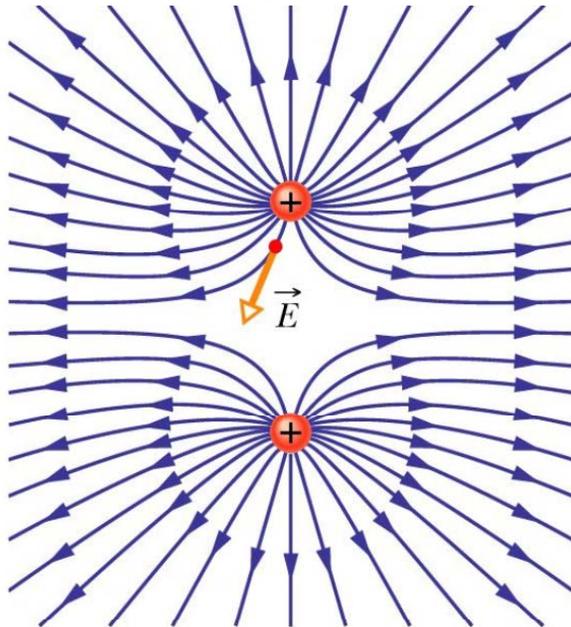
# Campo eléctrico de par de cargas puntuales

La **tangente** a una línea de campo es la **dirección** del campo eléctrico en cada punto.

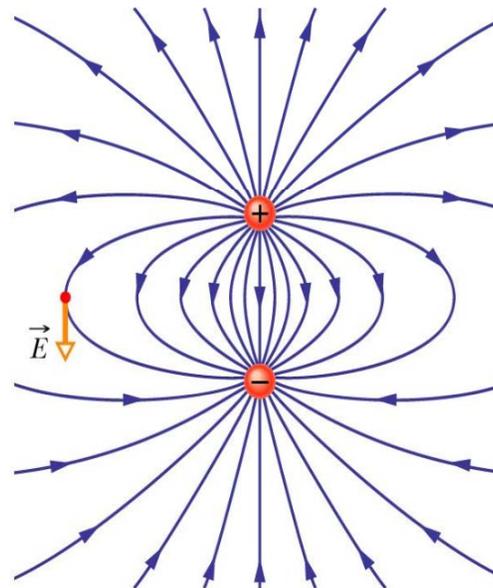
La **densidad** local de las líneas de campo es proporcional a la **intensidad** del campo eléctrico en cada punto.



Cargas Iguales (++)



Cargas Opuestas (+ -)



**Este es un  
dipolo  
eléctrico**

## 4.- Campo eléctrico de línea de carga

El campo eléctrico producido por una línea que tiene una carga distribuida de manera uniforme, se calcula de acuerdo a los siguientes principios.

- Se supone que la línea es **larga**.
- Tiene un **densidad** lineal de carga:

$$\rho_L = \frac{\text{carga}}{\text{unidad de longitud}} \quad [\text{C/m}]$$

**Para calcular el campo  $E$  en un punto  $P$**

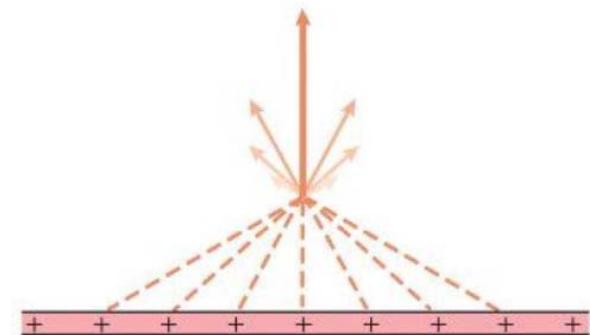
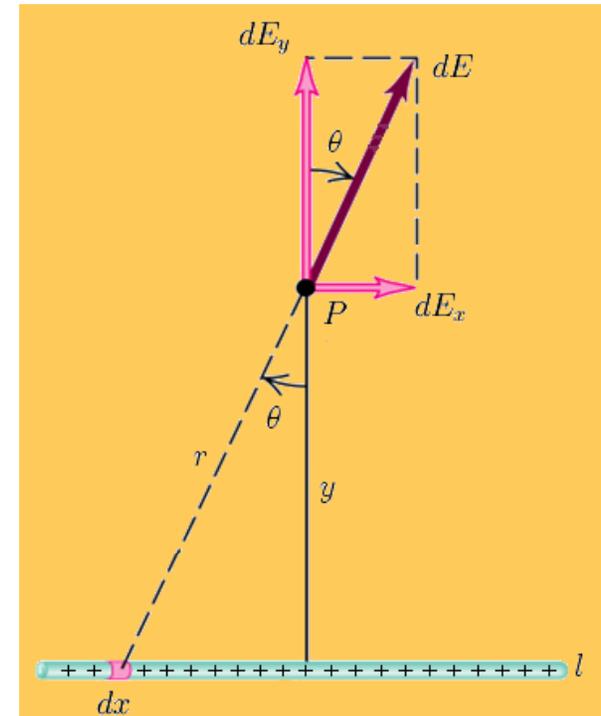
- ▶ Se divide la carga en cargas infinitesimales:  $dq = \rho_L dx$
- ▶ Se calcula el campo  $dE$  que produce cada carga  $dq$ .

Por simetría, los componentes en  $x$  deben ser 0, porque toda carga a la izquierda de la perpendicular que une  $P$  con la línea, tiene una carga correspondiente a la derecha, de modo que **se anulan mutuamente**.

El **campo eléctrico resultante** apunta exactamente en la dirección de las  $y$ .

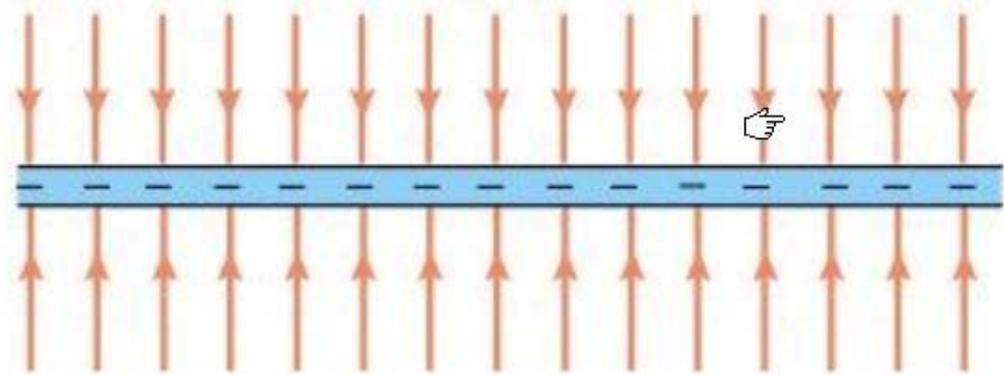
Por tanto, el **campo eléctrico  $E$  generado por una línea de carga de densidad lineal  $\rho_L$ , a una distancia  $R$ , se escribe:**

$$E = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0 R} \quad [\text{V/m}]$$

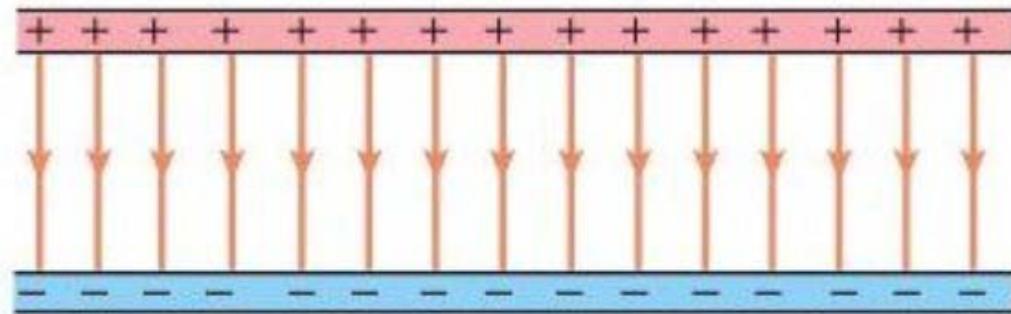


## Ejemplos de líneas con carga

Líneas de campo eléctrico para una distribución uniforme en una **línea con carga negativa**.



Líneas de campo eléctrico para una **línea de transmisión de dos conductores**.



En una línea de transmisión, los conductores tienen cargas de polaridades opuestas.

## 5.- Potencial eléctrico diferencial

En circuitos eléctricos se trabaja con voltajes y corrientes, y no se consideran los campos presentes en ellos, pero, en verdad, la existencia de un campo  $E$  entre 2 puntos origina la existencia de voltaje entre ellos; p. ej. entre los terminales de un resistor o un capacitor.

### Trabajo para mover la carga $q$

■ El campo  $E$  de la carga referencial ejerce una fuerza  $F_e$  sobre la carga de prueba  $q$  en dirección de  $-y$ .

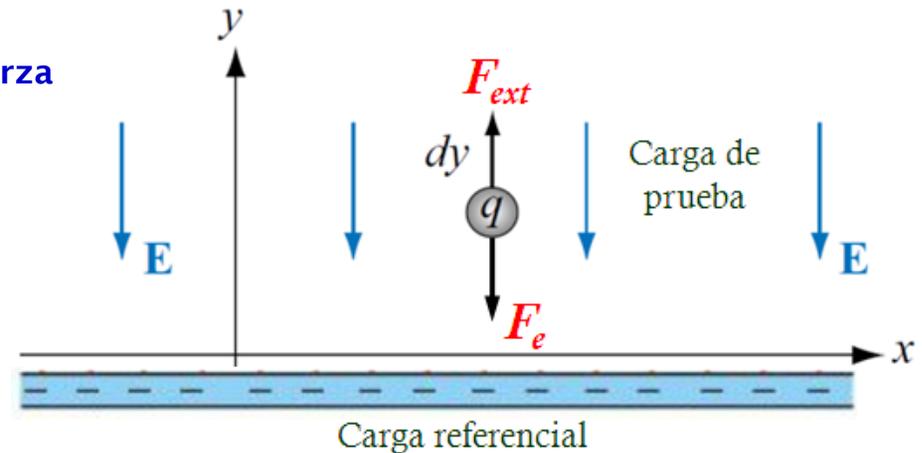
$$\Rightarrow F_e = qE \quad [\text{N}]$$

■ Para mover  $q$  a lo largo de  $+y$ , a velocidad constante, se necesita una fuerza  $F_{ext}$ .

$$\Rightarrow F_{ext} = -F_e = -qE \quad [\text{N}]$$

■ Al mover  $q$  una distancia  $dy$ , se ha realizado un trabajo  $dW$  o se ha gastado energía.

$$\Rightarrow dW = F_{ext} dy = -F_e dy = -qE dy \quad [\text{J}]$$



### Definición de potencial eléctrico diferencial

$$\Rightarrow dV = \frac{\text{Trabajo realizado}}{\text{Unidad de carga}} = \frac{dW}{q} = -E dy \quad [\text{V}]$$

Es el trabajo realizado por unidad de carga.

### Definición de potencial absoluto o voltaje

$$\Rightarrow V = - \int_R^{\infty} E dy = E_R R \quad [\text{V}]$$

Es el trabajo por unidad de carga, realizado para mover la carga  $q$  desde una distancia  $R$  de la carga referencial hasta el infinito. En el infinito,  $E = 0$ .

# FIN