

Física II.

## Unidad 2. El campo eléctrico.

Presentación basada en el material contenido en: Serway, R. Physics for Scientists and Engineers. Saunders College Pub. 3rd edition.



# Campo eléctrico, definición

- Se dice que existe un campo eléctrico en una región alrededor de un objeto cargado
  - Este objeto cargado es la *fente de carga*.
- Cuando otro objeto, también cargado y llamado *carga de prueba*, entra en esta región de campo eléctrico, una fuerza actúa sobre él.

# Campo eléctrico, definición

- El campo eléctrico se define como el cociente de la fuerza eléctrica que actúa sobre la carga de prueba, entre el valor de su carga (de prueba).
- El vector campo eléctrico,  $\mathbf{E}$ , en un punto en el espacio se define como la fuerza eléctrica,  $\mathbf{F}$ , que actúa sobre una carga positiva\*,  $q_0$  colocada en ese punto y dividida por el valor de la carga de prueba:  $\mathbf{E} = \mathbf{F}_e / q_0$

*\* No es forzoso que la denominada carga de prueba sea positiva (y pequeña)*

# Notas sobre E

- E es el campo producido por alguna carga o distribución de cargas, separadas de la carga de prueba.
- La existencia del campo eléctrico es una propiedad de la fuente de carga
  - La presencia de una carga de prueba no es necesaria para que el campo exista; solamente lo cuantifica
- La carga de prueba es una especie de “detector” del campo eléctrico y no lo perturba (*por eso se requiere que sea una carga pequeña*).

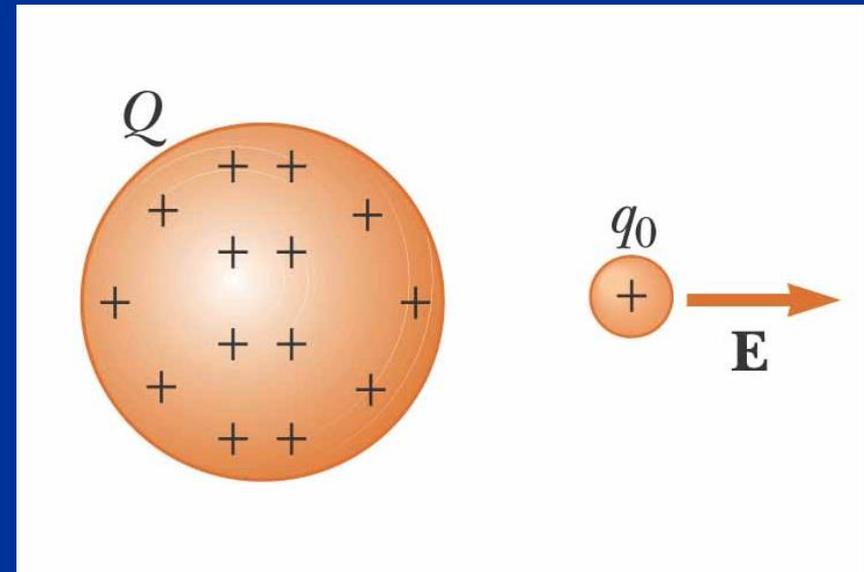
# 2.1 Campo eléctrico generado por cargas puntuales.

## Relaciones entre $F$ y $E$

- $F_e = q E$ 
  - Válido sólo para una carga puntual
  - Para objetos mayores, el campo puede variar en función del tamaño del objeto.
- Si  $q$  es positiva,  $F$  y  $E$  tienen la misma dirección.
- Si  $q$  es negativa,  $F$  y  $E$  tienen direcciones opuestas.

# Más notas:

- La dirección de  $\mathbf{E}$  es la de la fuerza sobre una carga de prueba positiva
- Las unidades SI para  $\mathbf{E}$  son N/C
- También podemos decir que un campo eléctrico existe en un punto, si colocando una carga de prueba ahí, ésta manifiesta una fuerza eléctrica.



# Forma vectorial de un campo eléctrico (cargas puntuales)

- La fuerza eléctrica entre una fuente de carga y la carga de prueba es

$$\mathbf{F}_e = k_e \frac{qq_o}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

- Entonces, el campo será

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}_e}{q_o} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

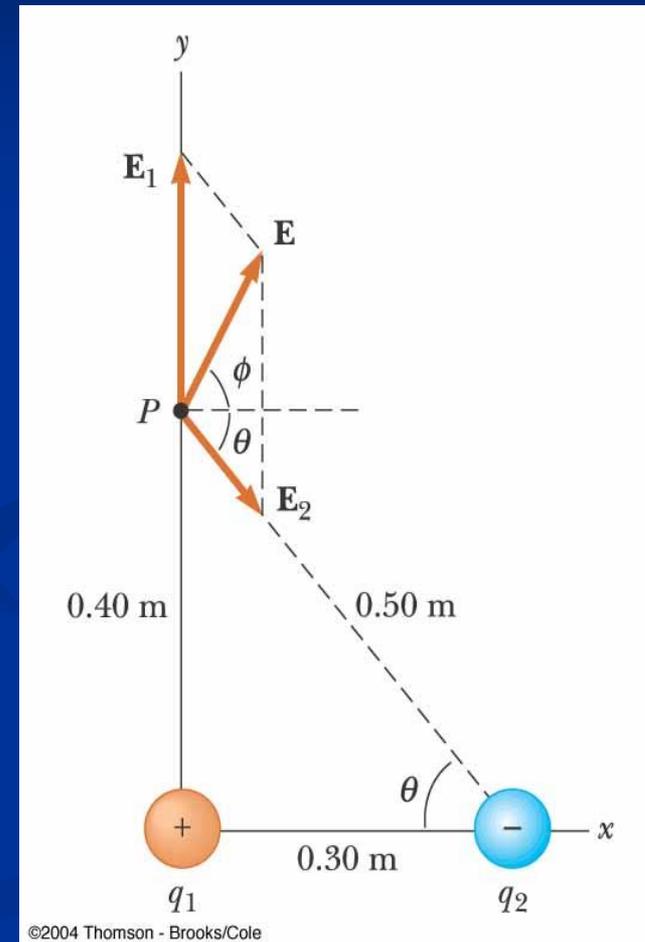
## 2.1 Principio de superposición de E

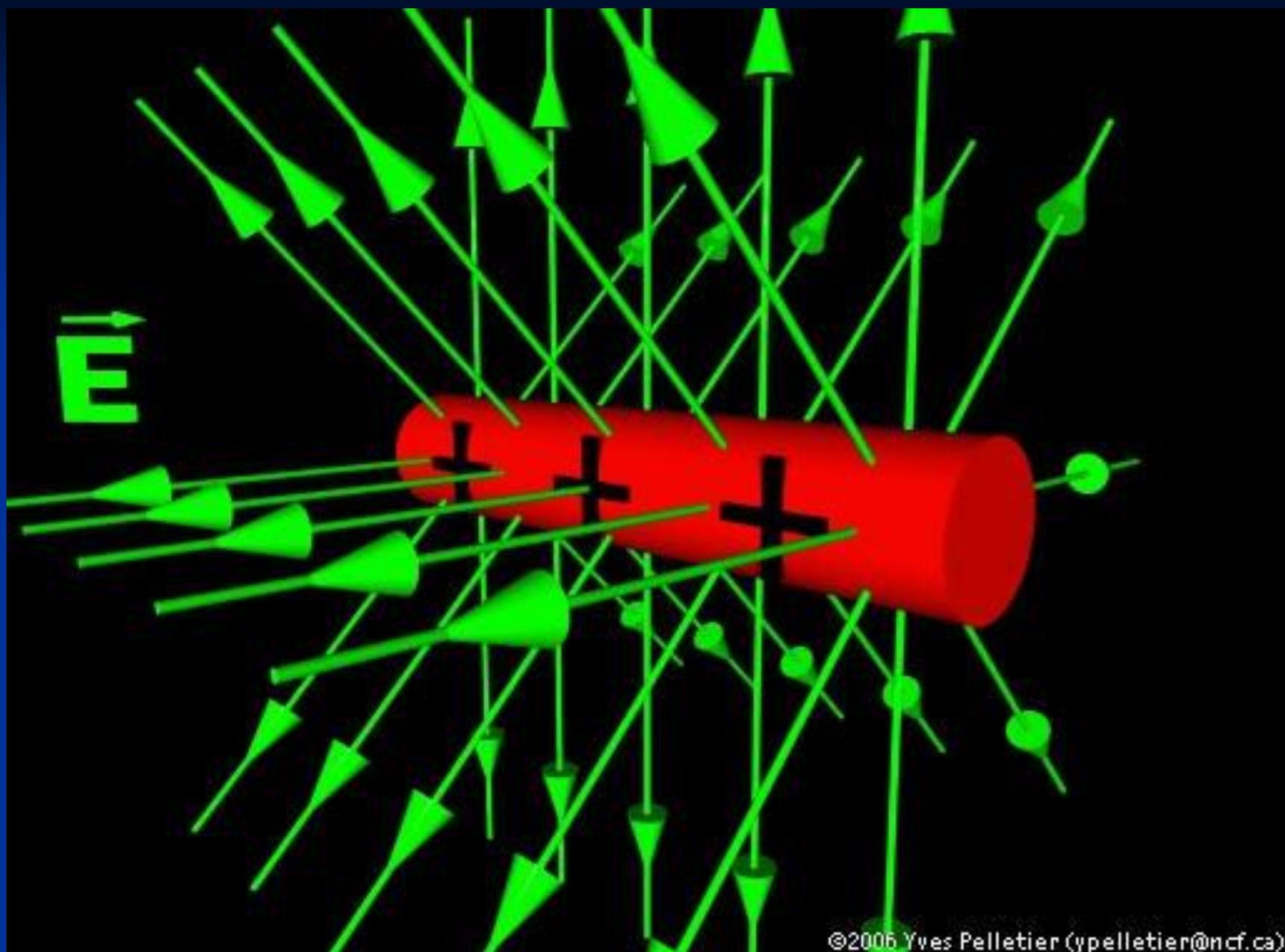
- Para un punto  $P$ , el campo eléctrico total es la ***suma vectorial*** de todos los campos eléctricos que producen cada una de las cargas fuente

$$\mathbf{E} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i$$

# Ejemplo de superposición

- Encontrar el campo eléctrico debido a  $q_1$ ,  $E_1$
- Encontrar el campo eléctrico debido a  $q_2$ ,  $E_2$
- $E = E_1 + E_2$ 
  - Recordar que los campos se suman como vectores
  - La dirección de los campos individuales es la dirección de la fuerza sobre una carga de prueba positiva



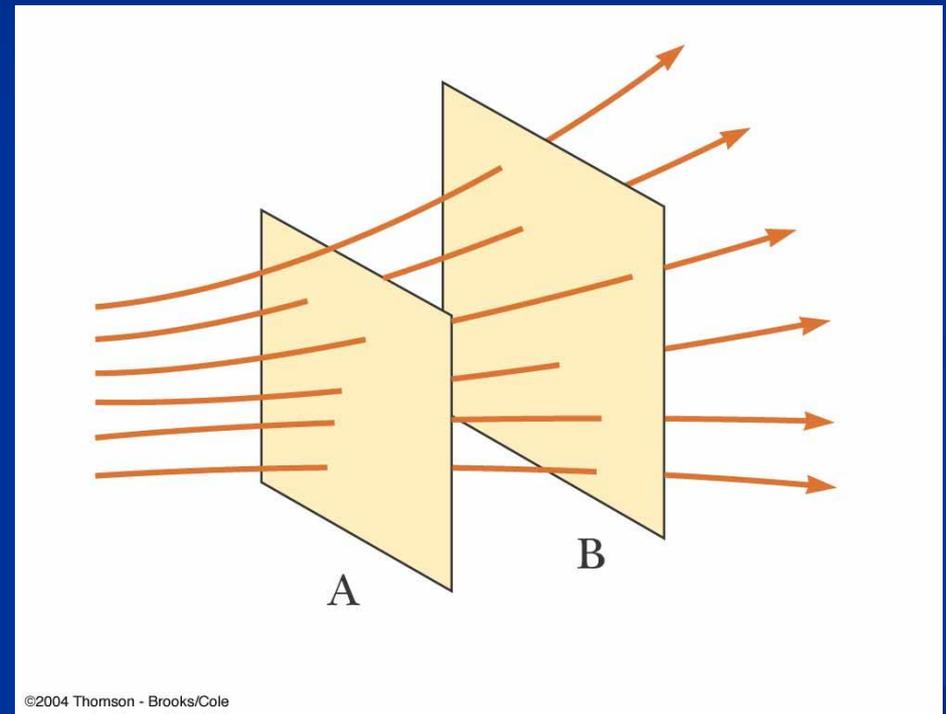


# Líneas del vector campo eléctrico

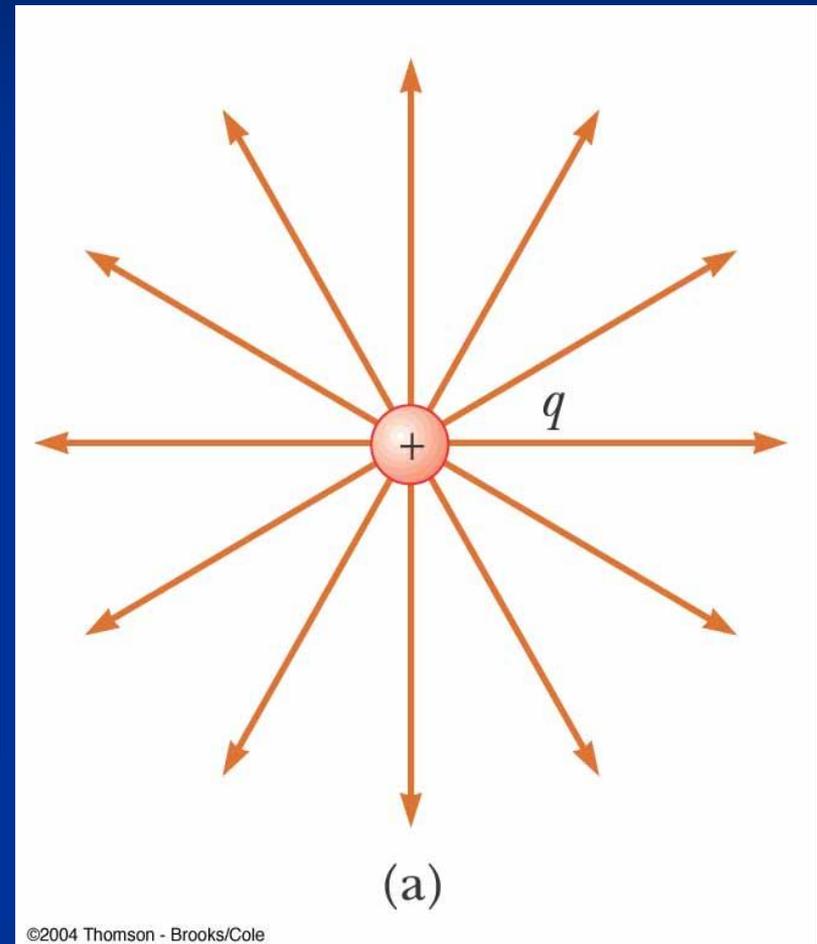
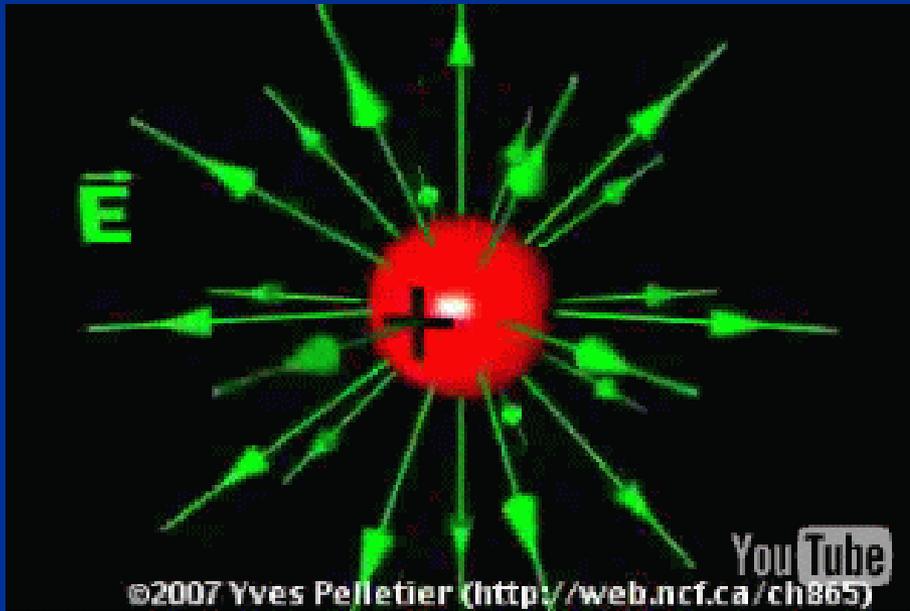
- Las líneas de campo nos proporcionan gráficamente la existencia de un campo eléctrico con algunas de sus propiedades
- El vector campo eléctrico  $E$  es tangente a la línea de campo eléctrico en cada punto
  - La línea de campo tiene una dirección que es la misma que la del vector campo eléctrico
- El número de líneas por unidad de área a través de una superficie perpendicular a las líneas de campo es proporcional a la magnitud del campo eléctrico en esa región

# Líneas del vector campo eléctrico

- La densidad de líneas de campo de la superficie A es mayor que la de la superficie B
- La magnitud del campo eléctrico es mayor sobre la superficie A que sobre la superficie B
- El campo eléctrico no es uniforme ya que la líneas apuntan en diferente dirección en cada punto

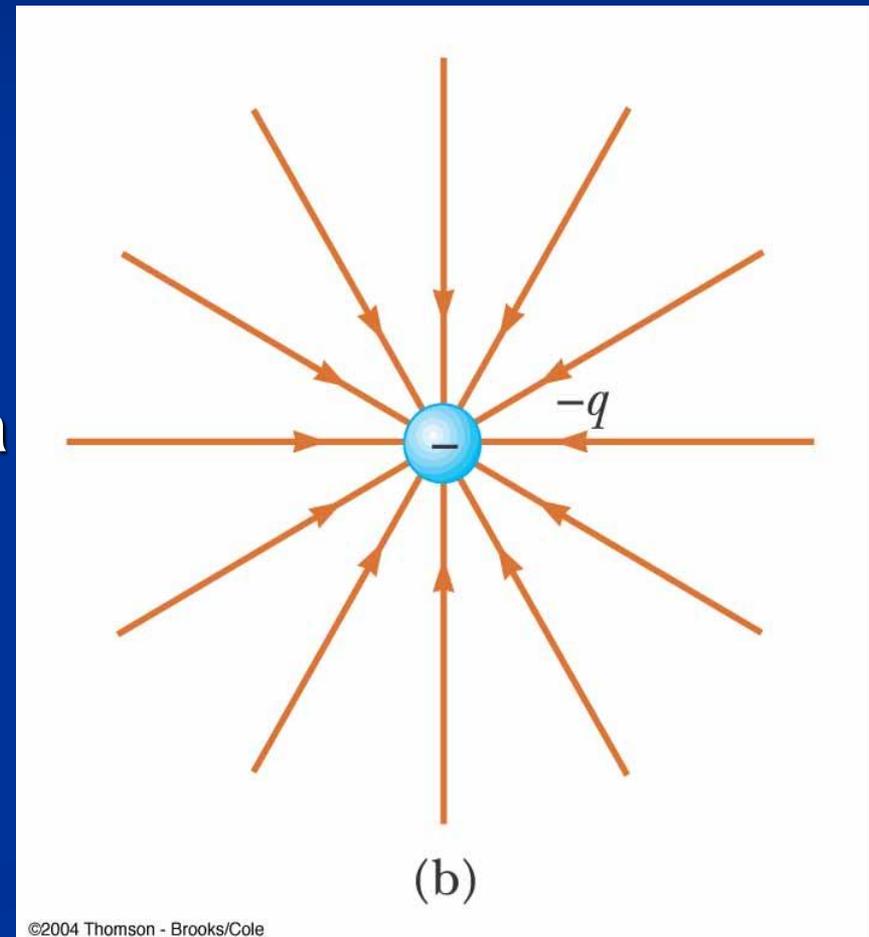


# Líneas de campo de una carga positiva



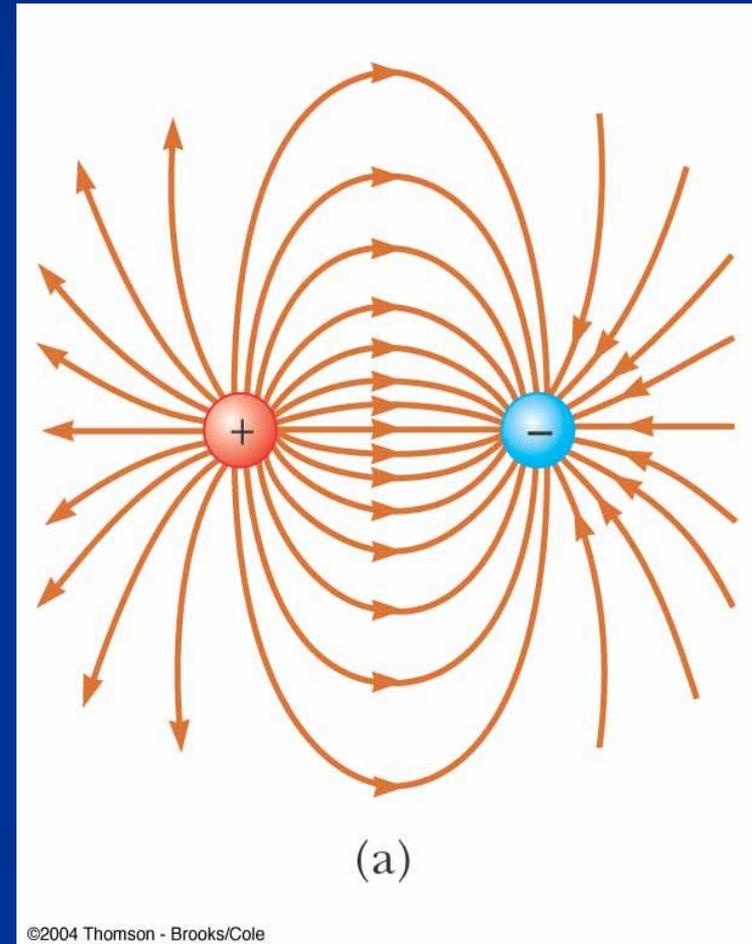
# Líneas de campo eléctrico para una carga negativa

- Notar que la dirección de las líneas de campo es la misma que la de la fuerza que experimentaría una carga de prueba (positiva)

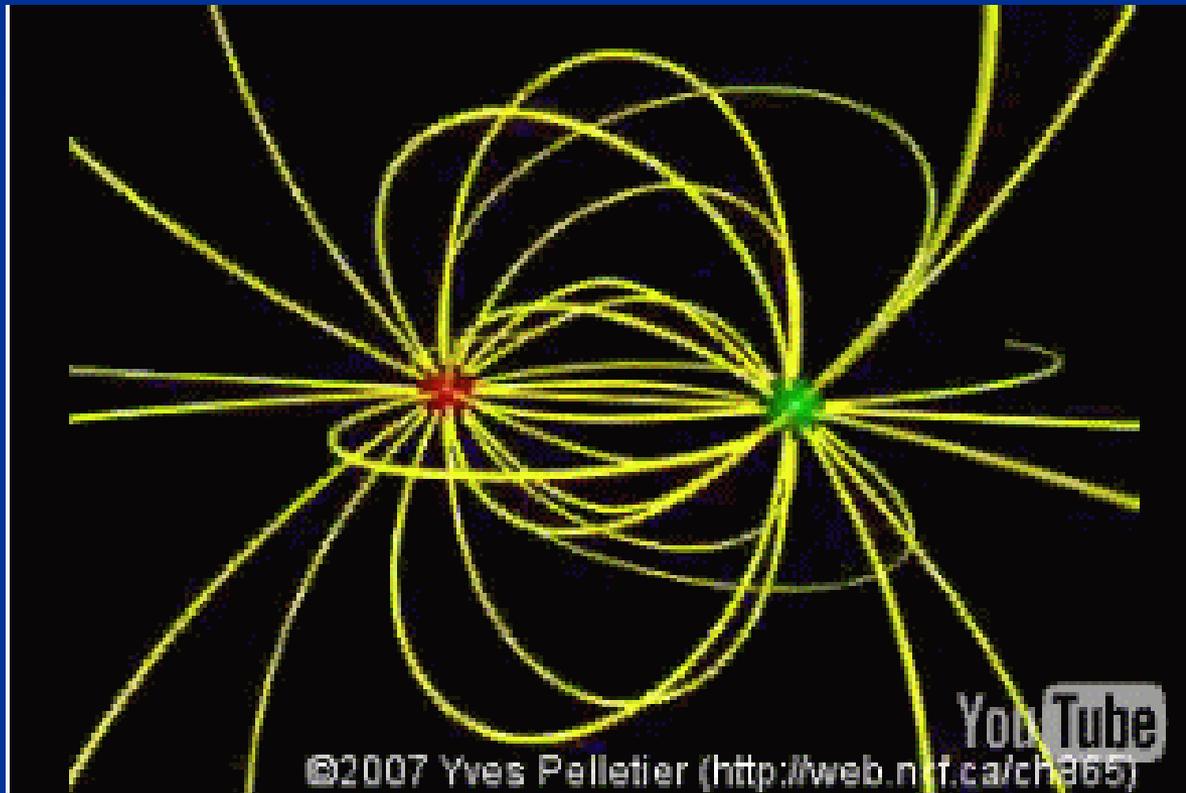


## 2.3 El campo eléctrico generado por un dipolo. Líneas de campo para un dipolo

- Las cargas son iguales y opuestas
- El número de líneas de campo que parten de la carga positiva es igual al de aquellas que llegan a la carga negativa

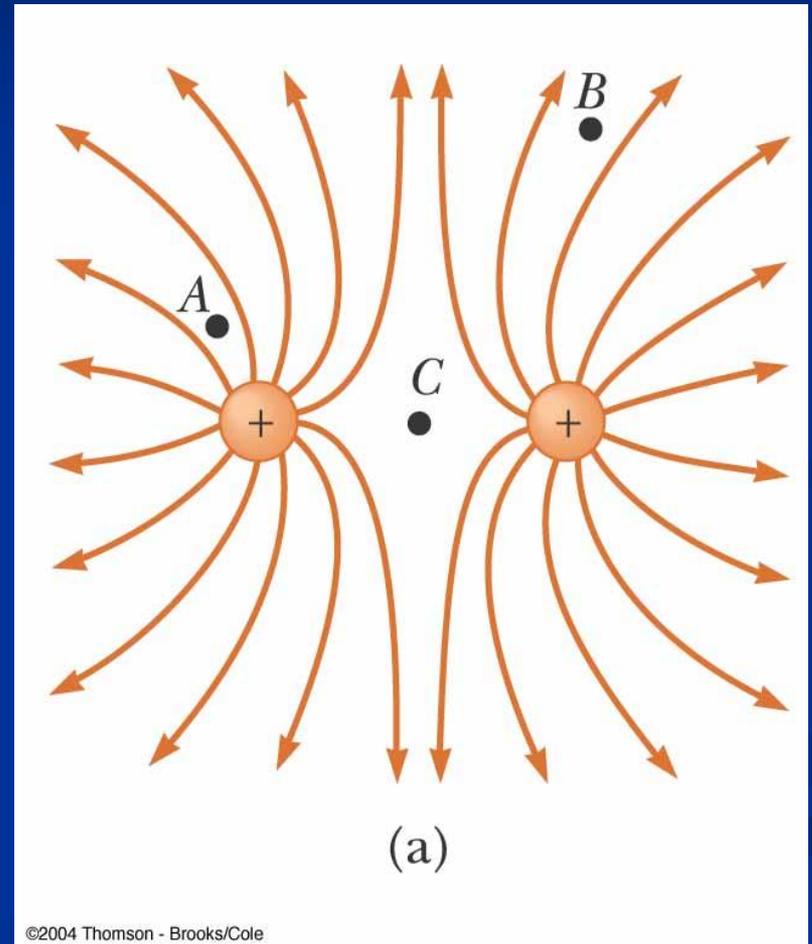


# Líneas de campo para un dipolo 3 - D

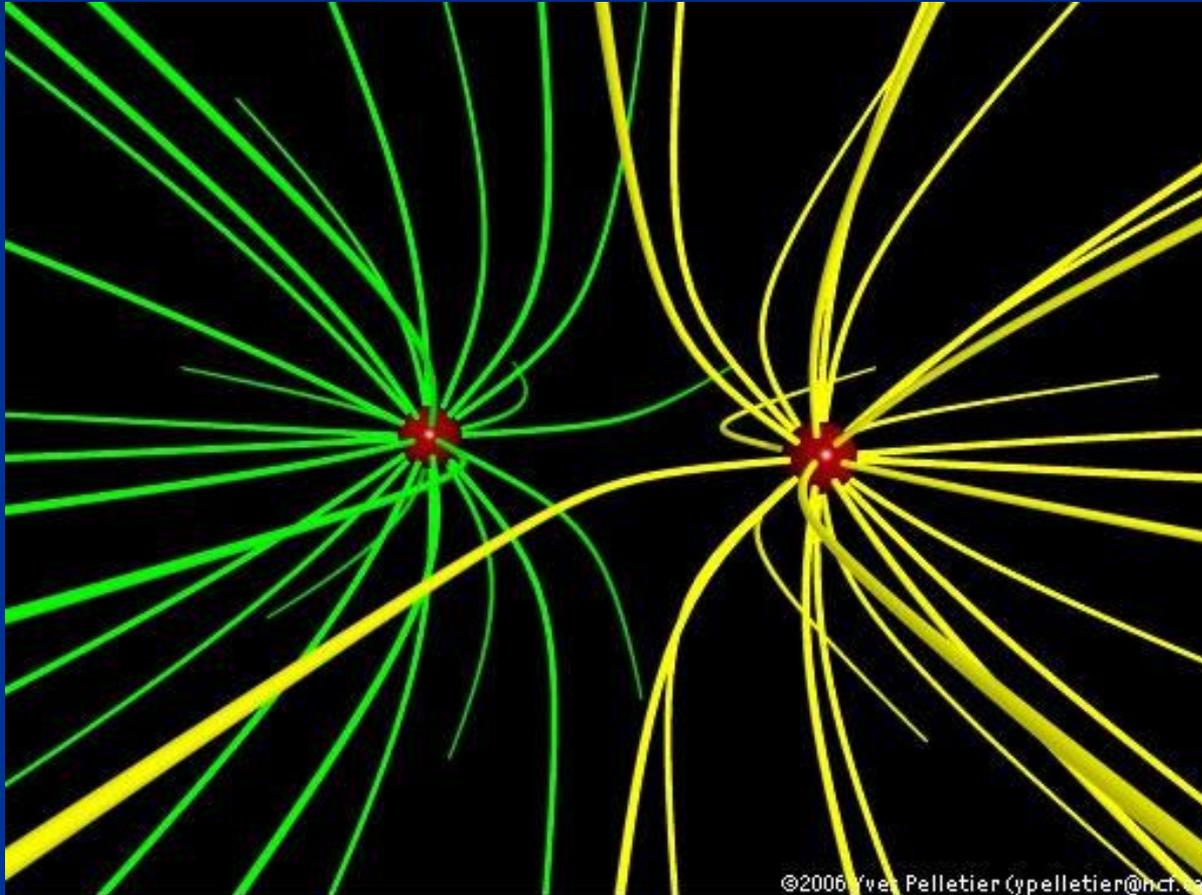


# Líneas de campo de cargas iguales (positivas)

- A una gran distancia el campo es aproximadamente igual al campo de un arreglo de 2 cargas positivas

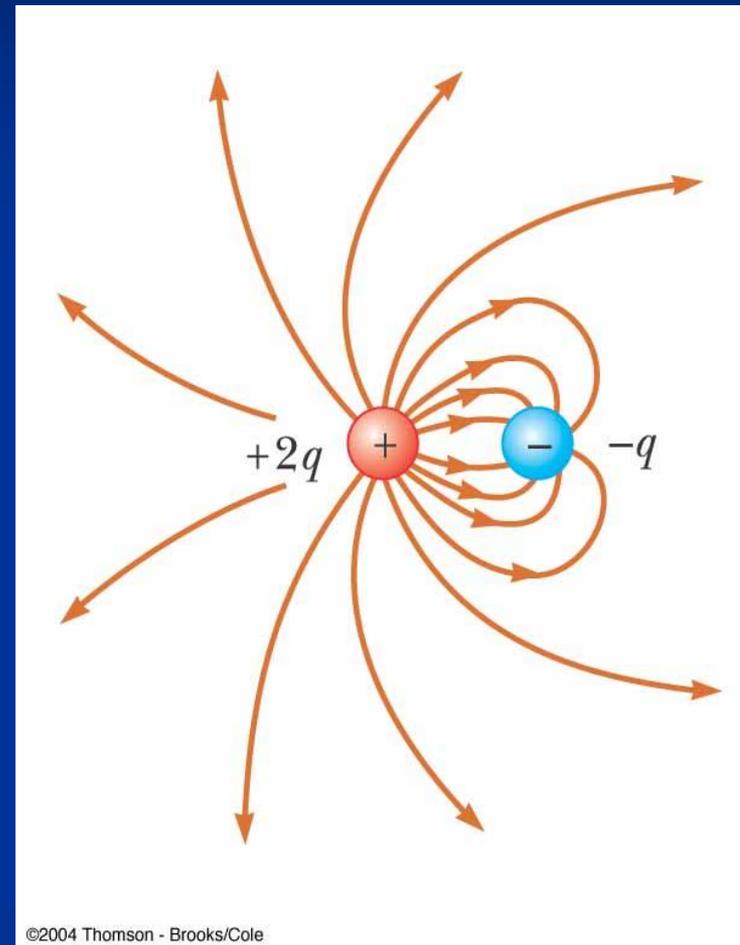


# Líneas de campo de cargas iguales (positivas)



# Caso de cargas desiguales

- La carga positiva tiene el doble que la negativa
- Dos líneas de campo dejan la carga negativa por cada una de las líneas que termina en la carga negativa
- A una gran distancia el campo sería aproximadamente el mismo que el debido a una sola carga positiva  $+q$



# Reglas para dibujar líneas de campo eléctrico

- Las líneas deben partir de una carga positiva y terminar sobre una carga negativa
  - En el caso de un exceso de un tipo de carga, algunas líneas comenzarán o terminarán en el infinito
- El número de líneas que parten de la carga positiva y que llegan a la negativa es proporcional a la magnitud de la carga eléctrica
- Dos líneas de campo nunca se cruzan

# Ejemplo de superposición

La distribución de cargas eléctricas en una nube de tormenta puede aproximarse más o menos mediante varias cargas de partículas puntuales colocadas a diferentes alturas.

## PROBLEMA

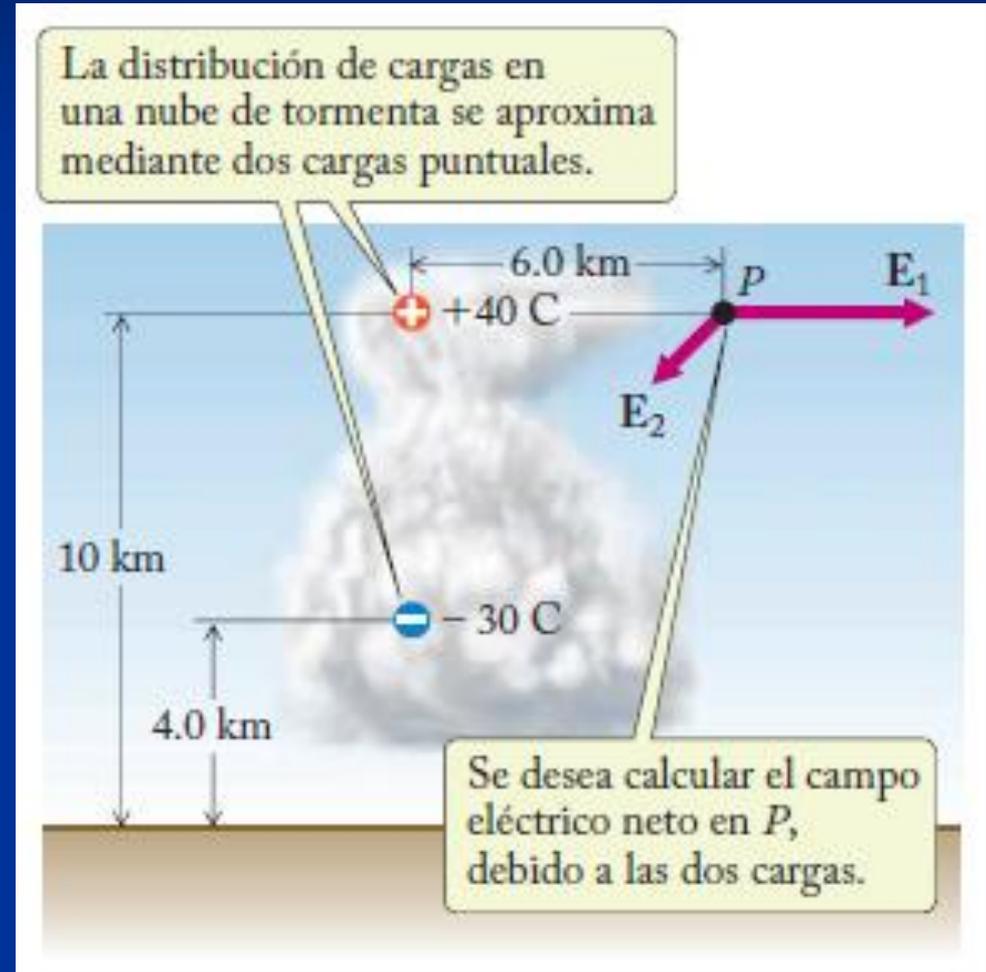
Dentro de una nube se tiene una distribución aproximada de cargas de la siguiente forma: una carga de  $+40\text{ C}$  a  $10.0\text{ km}$  de altura, y una carga de  $-30\text{ C}$  a  $4.0\text{ km}$  de altura.

- ❖ **¿Cuáles son las componentes horizontal y vertical del campo eléctrico producido por las dos cargas, en un punto P a  $10.0\text{ km}$  de altura, y a una distancia de  $6.0\text{ km}$  a la derecha?**
- ❖ **¿Cuál es la magnitud de este campo en ese punto?**

## PROBLEMA

Dentro de una nube se tiene una distribución aproximada de cargas de la siguiente forma: una carga de  $+40\text{ C}$  a  $10.0\text{ km}$  de altura, y una carga de  $-30\text{ C}$  a  $4.0\text{ km}$  de altura.

- ¿Cuáles son las componentes horizontal y vertical del campo eléctrico producido por las dos cargas, en un punto  $P$  a  $10.0\text{ km}$  de altura, y a una distancia de  $6.0\text{ km}$  a la derecha?
- ¿Cuál es la magnitud de este campo en ese punto?

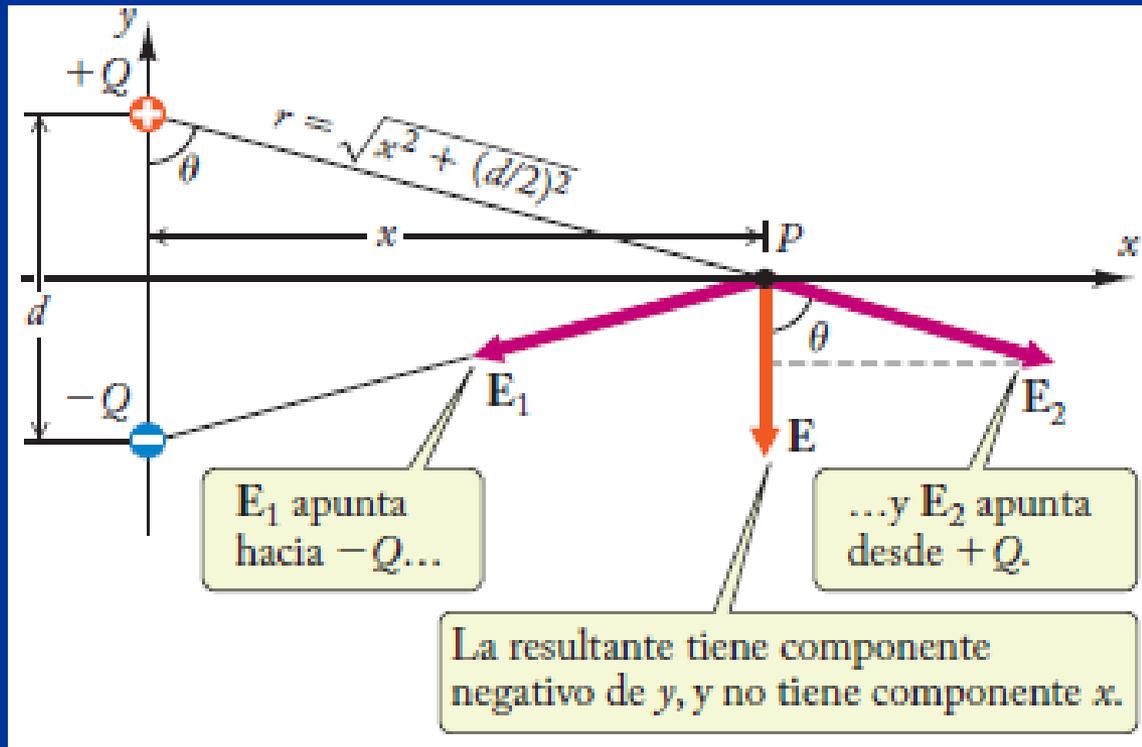


## 2.3 El campo eléctrico generado por un dipolo.

Se tienen dos cargas de magnitudes iguales y signos contrarios,  $\pm Q$ , separadas por una distancia  $d$ . Este arreglo se llama dipolo eléctrico.

a) Calcular el campo eléctrico en un punto equidistante a las dos cargas, a una distancia  $x$  de su punto medio.

b) ¿Cuál es la dependencia de este campo dipolar y la distancia, para  $x \gg d$ ?



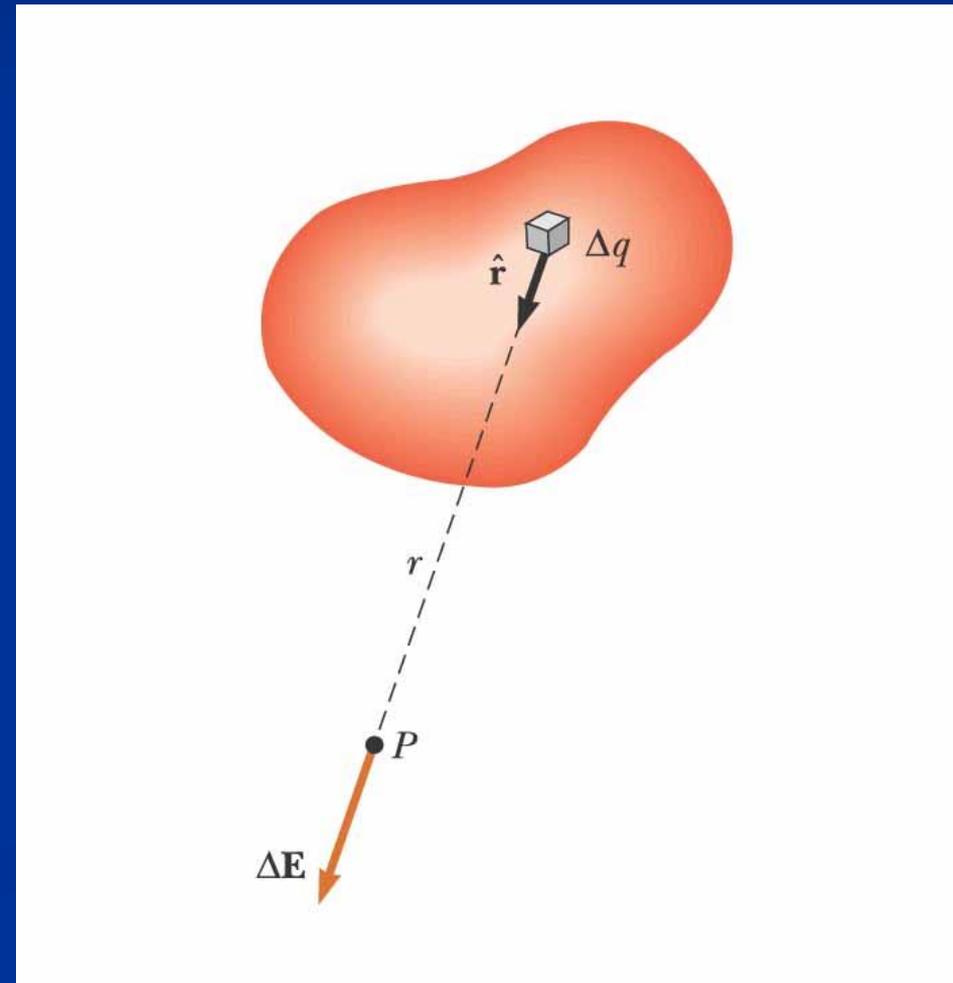
$$b) E = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qd}{x^3}$$

## 2.2 Campo eléctrico para distribuciones continuas de carga

- La distancia entre las cargas de un grupo de cargas, puede ser mucho más pequeña que la distancia entre el grupo de cargas y un punto de interés
- En esta situación, el sistema de cargas puede ser modelado como un continuo
- El sistema de cargas espaciadas es equivalente a que la carga total sea continuamente distribuída a lo largo de una línea, una superficie o a través de un volumen

# Distribución continua de carga

- Procedimiento:
  - Divida la distribución de cargas en elementos pequeños, cada uno de los cuales contiene  $\Delta q$
  - Calcule el campo eléctrico debido a uno de estos elementos en el punto P
  - Evalúe el campo total, asumiendo las contribuciones de todos los elementos de carga



# Ecuaciones para distribuciones de carga.

- Para los elementos de carga individuales

$$\Delta \mathbf{E} = k_e \frac{\Delta q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

- Ya que la distribución de carga es continua (homogénea)

$$\mathbf{E} = k_e \lim_{\Delta q_i \rightarrow 0} \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i = k_e \int \frac{dq}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

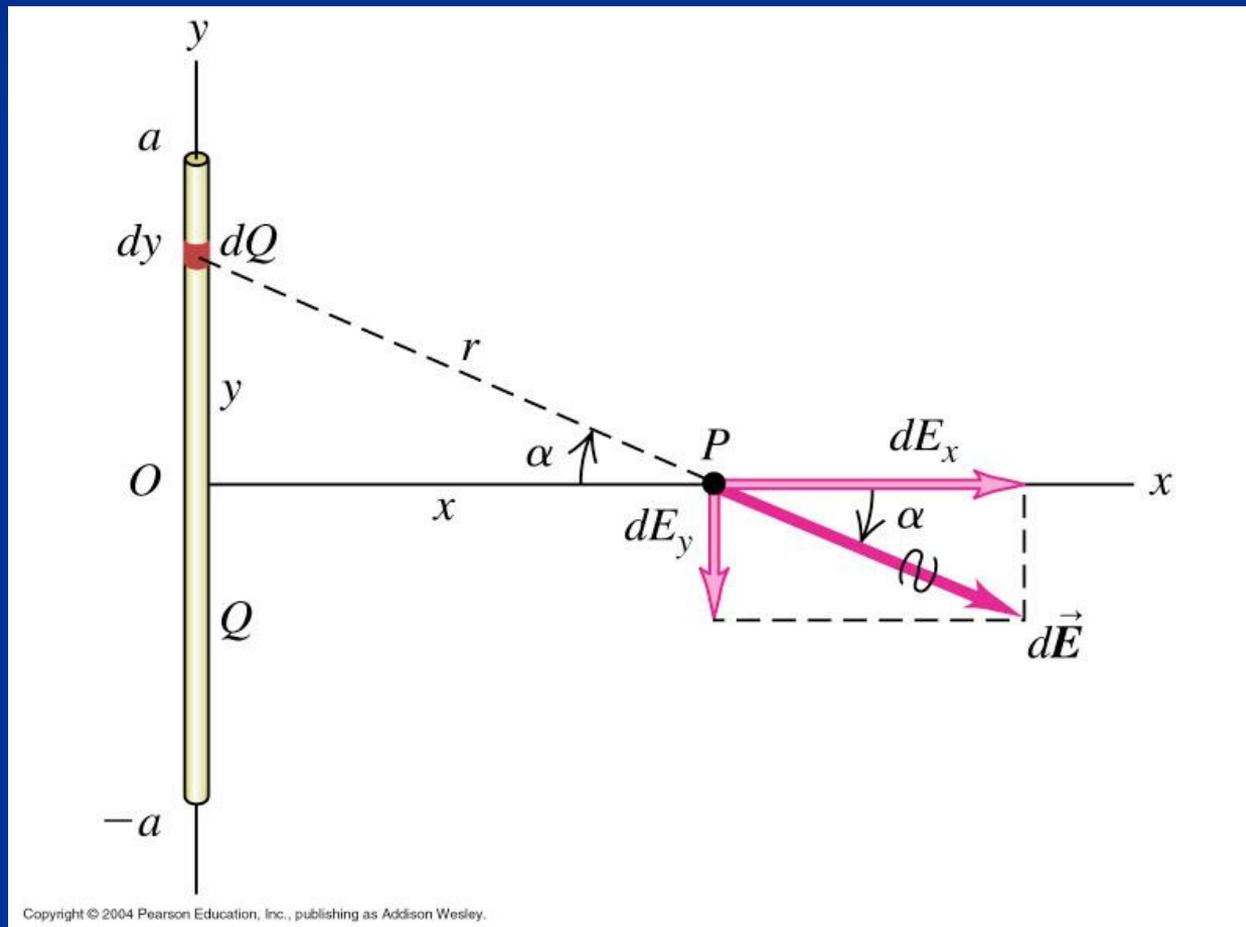
# Densidades de carga

- **Densidad volumétrica de carga:** cuando una carga total está distribuida homogéneamente a través de un volumen
  - $\rho = Q / V$
- **Densidad superficial de carga :** Cuando una carga total  $Q$ , esta distribuida homogéneamente sobre una área superficial
  - $\sigma = Q / A$
- **Densidad lineal de carga:** cuando una carga total  $Q$  se encuentra distribuida a lo largo de una línea
  - $\lambda = Q / \ell$

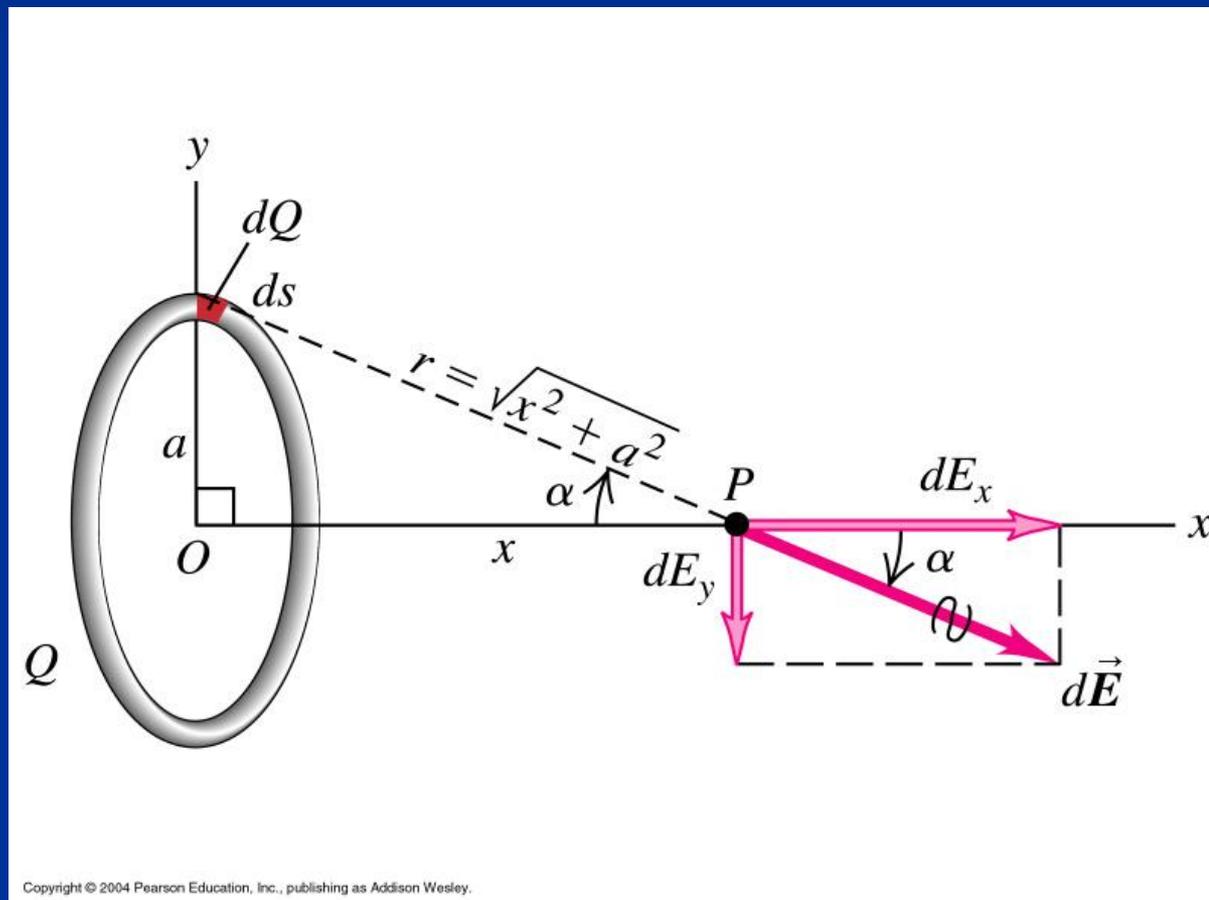
# Elementos de carga de estas distribuciones

- Para un elemento de volumen:  $dq = \rho dV$
- Para un elemento de superficie:  $dq = \sigma dA$
- Para un elemento de longitud:  $dq = \lambda d\ell$

# Ejemplo: Determinación del campo producido por una barra conductora continua, con carga positiva.

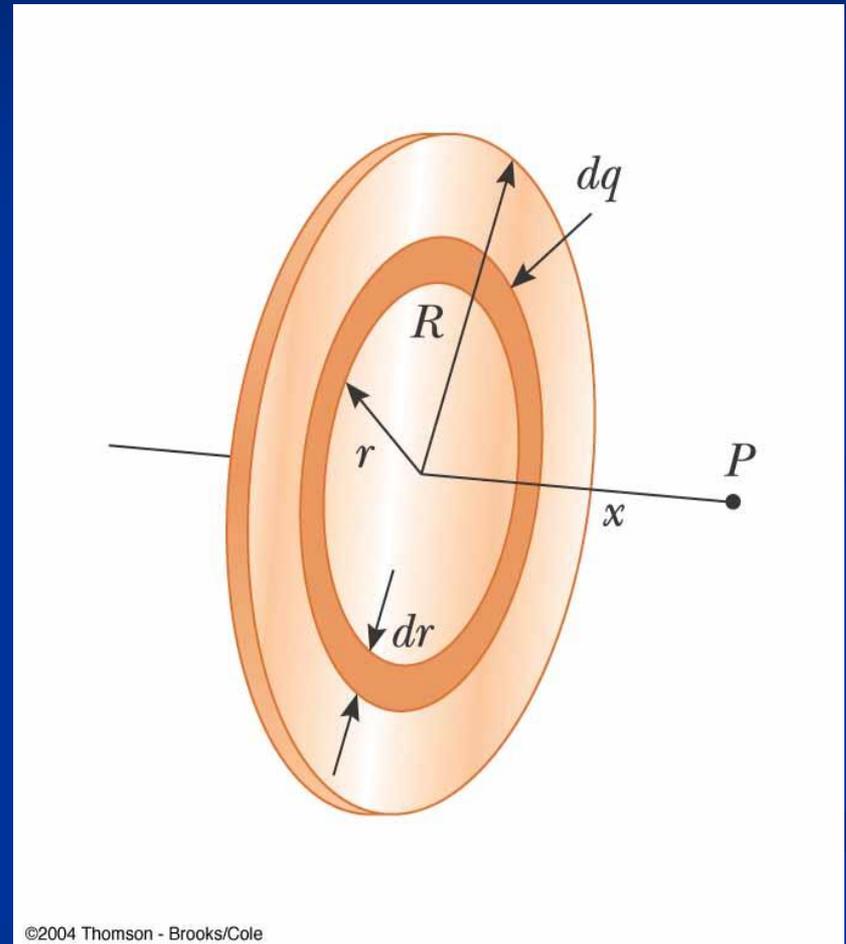


# Ejemplo: Determinación del campo producido por un anillo continuo, con carga positiva.



# Un disco cargado

- El disco de carga  $\sigma$  y un radio  $R$
- Se elige  $dq$  como se hizo con el anillo de radio  $r$
- El elemento de superficie del disco es ahora  $2\pi r \sigma dr$

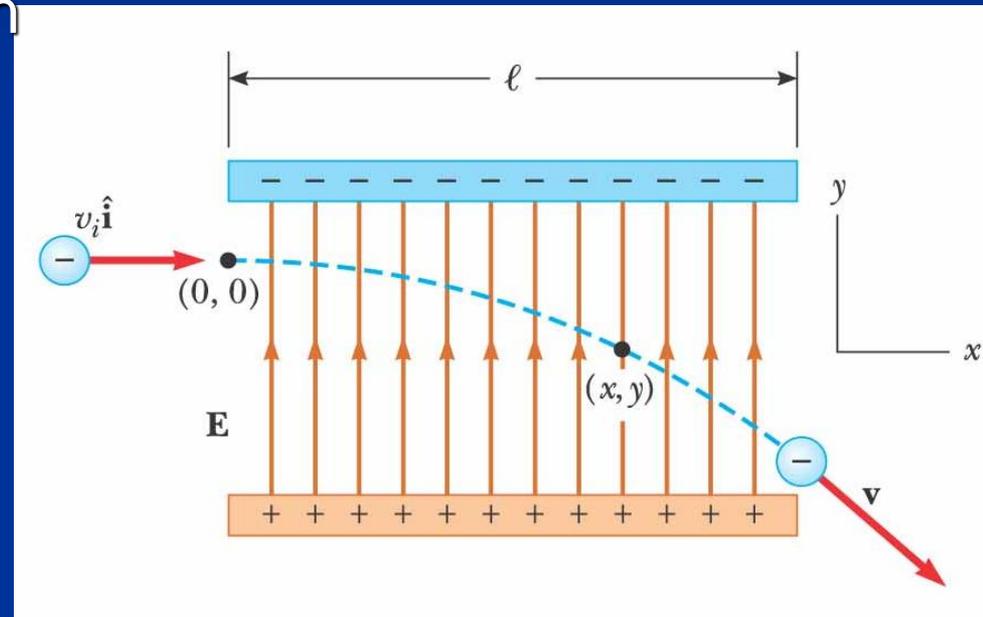


## 2.4 Movimiento de cargas originado por campos eléctricos

- $F_e = qE = ma$
- Si  $E$  es uniforme, entonces  $a$  es constante
- Si la partícula tienen una carga positiva, su aceleración es en la dirección del campo
- Si la partícula tiene una carga negativa, su aceleración es en dirección opuesta a la del campo
- Como la aceleración es constante, las ecuaciones de la cinemática son totalmente válidas.

# Ejemplo: Electrón en un campo eléctrico uniforme

- Suponga que se lanza un electrón hacia una región en la que existe un campo eléctrico uniforme
- El electrón experimentará una aceleración hacia abajo
  - Esta es negativa, así la aceleración es opuesta al campo  $E$
- Su movimiento dentro de los platos obedecerá a la ecuación de una parábola



# Ejemplo: Electrón en un campo eléctrico uniforme

## *Simulación numérica*

