

## 03-CAMPO, ENERGÍA Y POTENCIAL ELÉCTRICO

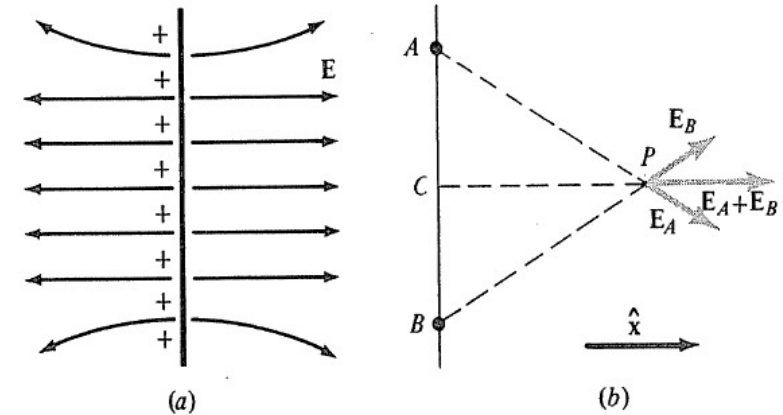


# CAMPO DE UN PLANO CARGADO UNIFORMEMENTE

**Campo creado por un plano infinito: es constante en módulo y dirección.**

Al ser de dimensiones infinitas, para determinar el campo en P, siempre hay cargas en posiciones simétricas de modo que el campo resultante es perpendicular al mismo.

Esto no es cierto si las dimensiones no son infinitas.



Sin embargo, los campos de estas cargas desapareadas y distantes no tienen importancia si P se halla próximo al plano y no está muy cerca de algún extremo. Se prueba que su magnitud vale:

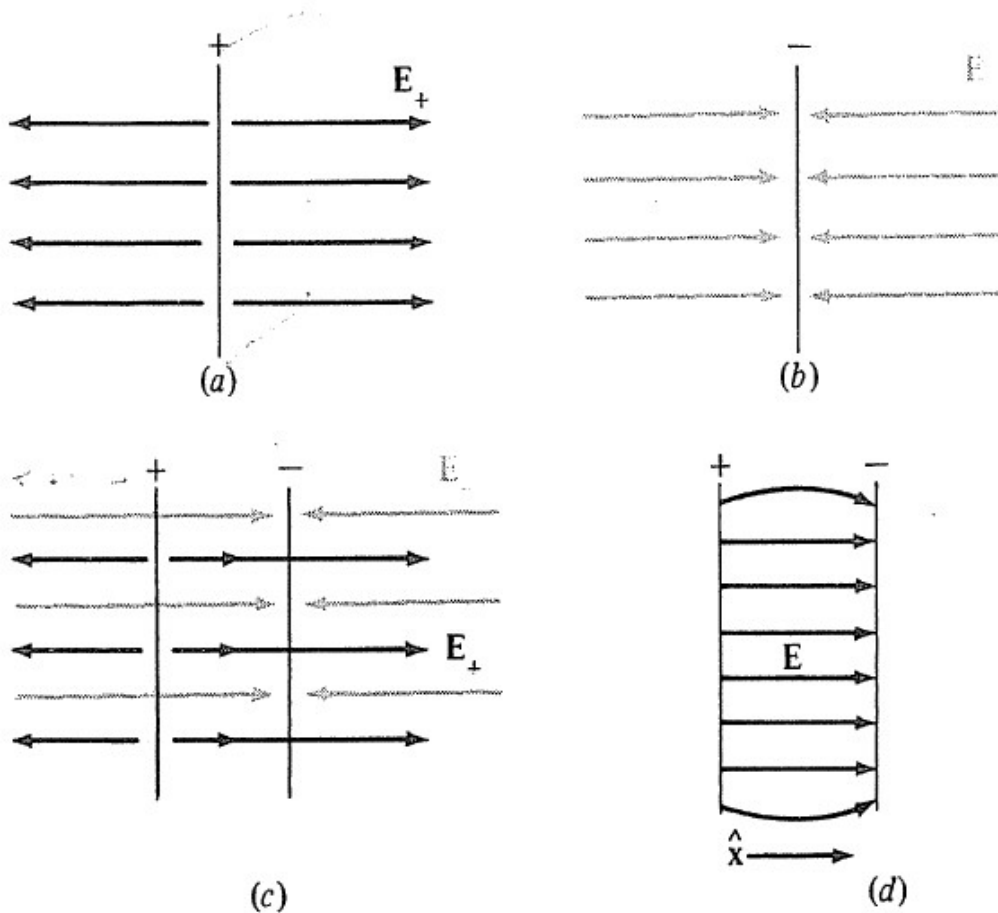
$$\bar{E} = 2\pi k_E \frac{Q}{A} \hat{x} = 2\pi k_E \sigma \hat{x} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{x}$$

$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{\mathbf{n}}$$

Campo constante (no varía con la distancia al plano considerado) y perpendicular al mismo



# CAMPO DE DOS PLANOS CARGADO UNIFORMEMENTE



Consideremos ahora dos planos de área  $A$  y que tengan cargas iguales pero de signo opuesto  $+Q$  y  $Q$ . Los campos se suman en la región entre los planos y se cancelan en el resto del espacio.

Por tanto, entre los campos (con la aproximación mencionada anteriormente):

$$\bar{E} = 4\pi k_E \frac{Q}{A} \hat{x} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \hat{x}$$

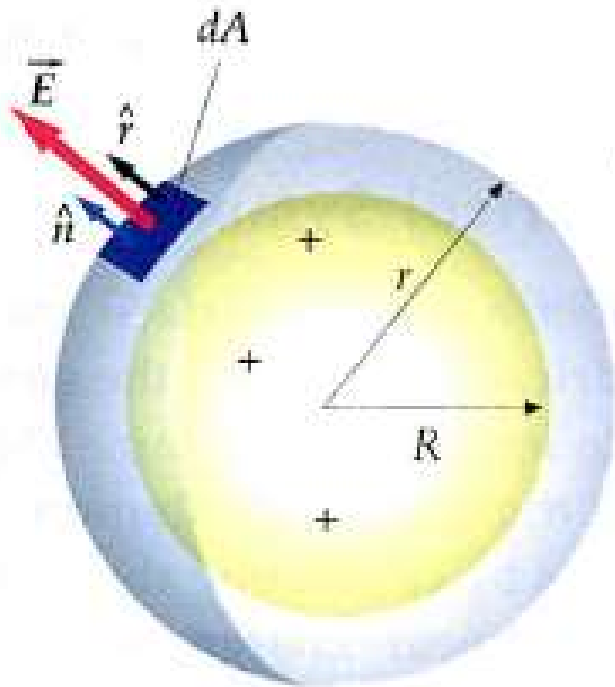




# CAMPO CREADO POR UNA ESFERA CARGADA

## Esfera de radio R cargada con carga q.

Si la carga se distribuye uniformemente en el volumen (como en un no conductor) entonces hay una densidad de carga volumétrica  $\rho$  constante



1) Para  $r > R$

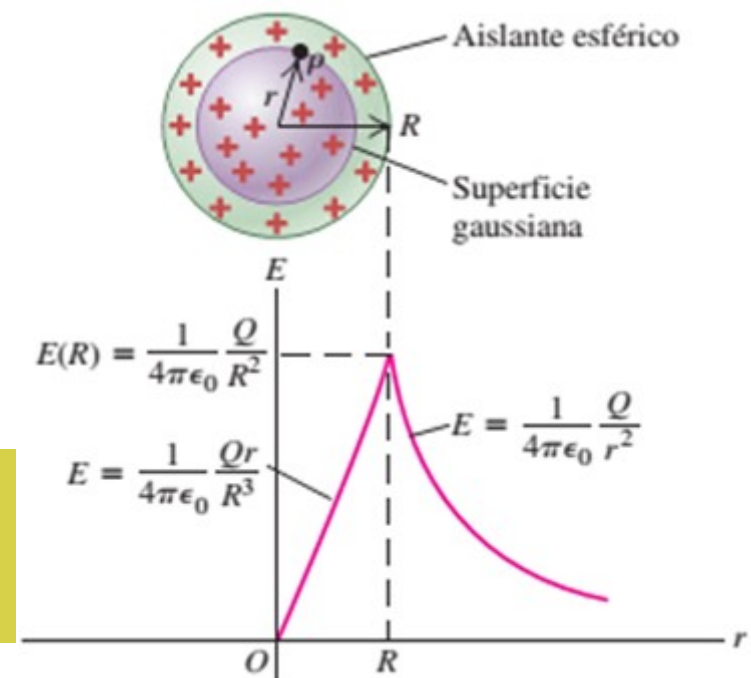
$$\vec{E}(r) = k_E \frac{q}{r^2} \hat{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

2) Para  $r < R$

$$\vec{E}(r) = k_E \frac{qr}{R^3} \hat{r} = \frac{\rho r}{3\epsilon_0} \hat{r}$$

Si la esfera es conductora, el campo en el exterior es el mismo, y en el interior es nulo.

**El campo eléctrico de una esfera cargada para  $r > R$ , es el mismo que el de una carga puntual  $q$  ubicada en su centro**



# ELECTORRECEPCIÓN

Habilidad biológica para recibir y hacer uso de impulsos eléctricos.

Más común en criaturas acuáticas, pues el agua es mejor conductor que el aire.

Se usa principalmente para **electrolocalización**: uso de campos eléctrico para localizar objetos y ubicarse en el espacio.

Muchos peces tienen este sentido asociado al sistema de la **línea lateral** (órgano sensorial).

El animal percibe los campos eléctricos generados por otros animales.

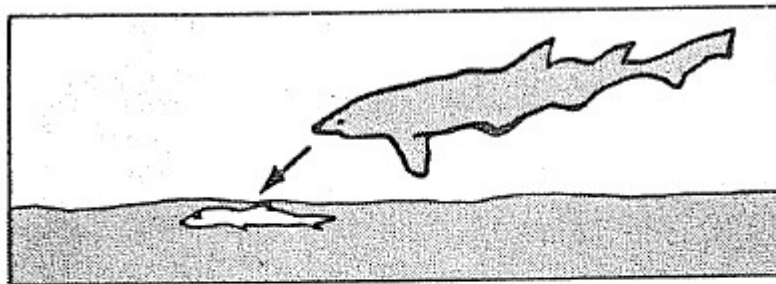
Los tiburones son los animales conocidos más sensibles eléctricamente, respondiendo a campos tan bajos como  $5 \times 10^{-7}$  N/C.

Los sensores de los tiburones a los campos eléctricos son llamados **ampollas de Lorenzini**.

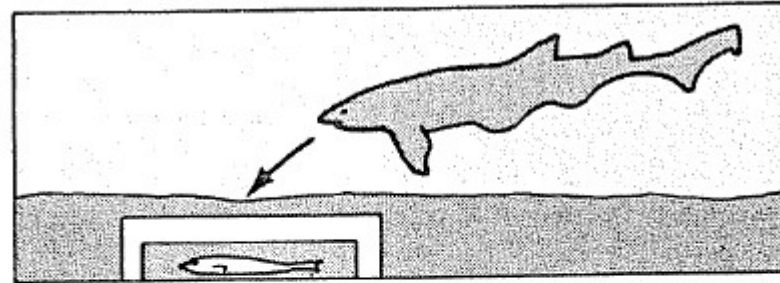
Consisten en **células electrorreceptoras** conectadas al agua marina a través de poros en sus hocicos y otras zonas de la cabeza.

Frecuente en peces como tiburones, rayas, lampreas y bagres, pero además en ciertos mamíferos (monotremas): como equidnas y ornitorrincos.

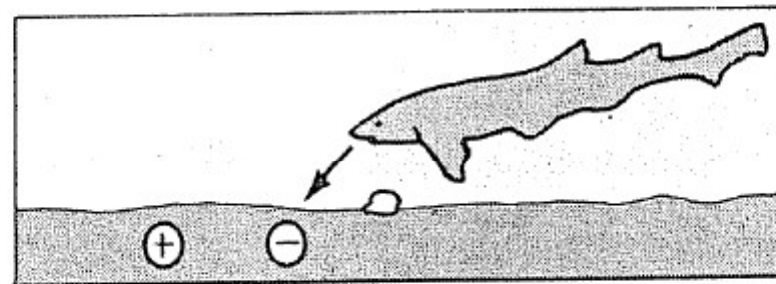
# ELECTRORRECEPCIÓN



(a)



(b)



(c)

$$E = 0,5 \mu\text{N/C.}$$

Los tiburones son sensibles a pequeñísimos campos eléctricos producidos por cargas en un cuerpo.

a) El tiburón ataca a un pez oculto bajo la arena.

b) Una cámara bloquea todo menos los estímulos eléctricos y el tiburón no obstante ataca.

c) Un campo eléctrico producido artificialmente consigue la misma respuesta. El tiburón aparece ignorando un trozo de alimento bien patente por seguir el estímulo eléctrico.



# ELECTRORRECEPCIÓN DEL TIBURÓN



Los tiburones tienen la habilidad de localizar a sus presas aunque estén totalmente escondidas en la arena del fondo del océano. Hacen esto detectando los débiles campos eléctricos producidos por las contracciones musculares de sus presas.

La sensibilidad de los escualos a los campos eléctricos (“el sexto sentido”) proviene de los canales gelatinosos que tienen en sus cuerpos.

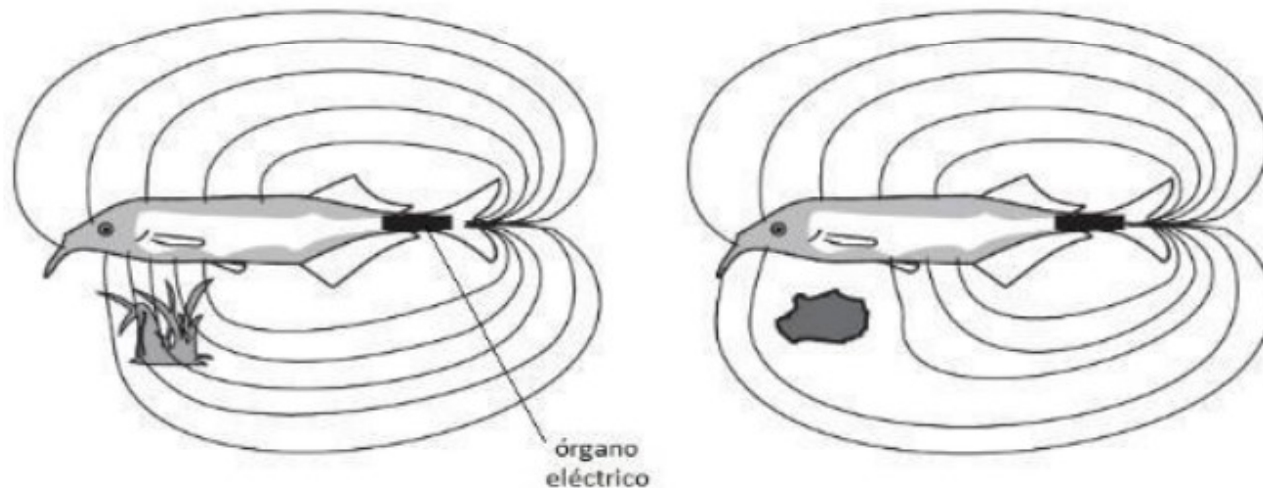
Estos canales terminan en los poros de la piel del tiburón (mostrado en esta fotografía). Un campo eléctrico tan débil como  $5 \times 10^{-7}$  N/C genera una carga que fluye dentro de los canales y dispara una señal en el sistema nervioso del tiburón. Como el tiburón tiene canales con orientaciones diferentes, puede medir las distintas componentes del vector del campo eléctrico y determinar así la dirección del campo.

# ELECTRORRECEPCIÓN

En el curso de Laboratorio de Física 2 hacen un modelo:

## b) «Pez eléctrico»

Ciertos peces poseen la capacidad de detectar campos eléctricos, denominada electrorrecepción. La electrorrecepción es útil para obtener información del entorno y en particular para percibir la presencia de otros seres vivos. Estos peces poseen un órgano para generar el campo eléctrico y otros para detectarlo. En la figura se muestran las líneas de campo en un ejemplo (ver ref. [2]).



**Figura 5:** Electrorrecepción en peces eléctricos. El cambio en las líneas del campo eléctrico que ellos mismos generan, debido a objetos cercanos, les permite obtener información de su entorno.



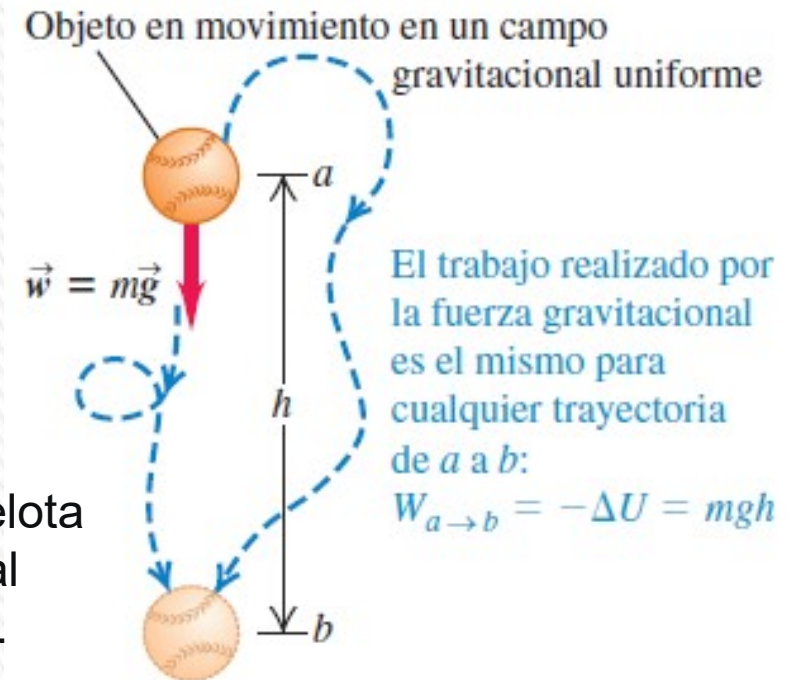
# ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA

Sabemos que podemos asociar una energía potencial a fuerzas conservativas. En general si **F** es una fuerza conservativa, el trabajo realizado por **F** se puede expresar en términos de una **energía potencial U**, y se cumple:

$$W_{A \rightarrow B} = U_A - U_B = -(U_B - U_A) = -\Delta U$$

Trabajo en un campo gravitatorio uniforme: una pelota se traslada desde el punto **a**, con energía potencial gravitatoria  $U_{ga} = mgh_a$ , al punto **b**, con  $U_{gb} = mgh_b$ .

El trabajo que realiza el peso vale:  $W_{a \rightarrow b} = mgh = mg(h_a - h_b) = U_{ga} - U_{gb} = -\Delta U_g$



La fuerza eléctrica (coulombiana) es una **fuerza conservativa**, por tanto se le puede asociar una **energía potencial eléctrica**, y el trabajo realizado no depende de la trayectoria, sino que solamente del punto inicial y final.

Cuando una partícula con carga se mueve en un campo eléctrico, este último ejerce una fuerza que efectúa un *trabajo sobre la partícula*.

*Este trabajo siempre se puede expresar en términos de la energía potencial eléctrica.*

# ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA EN CAMPO UNIFORME

Par de placas metálicas paralelas con carga generan un campo eléctrico uniforme descendente de magnitud  $E$ .

Trabajo realizado por el campo eléctrico:

$$W_{A \rightarrow B} = F \cdot d = q_0 E d$$

Componente  $y$  de la fuerza eléctrica,  $F_y = -q_0 E$ , es constante, no hay componente  $x$  o  $z$ , análogo a la fuerza peso.

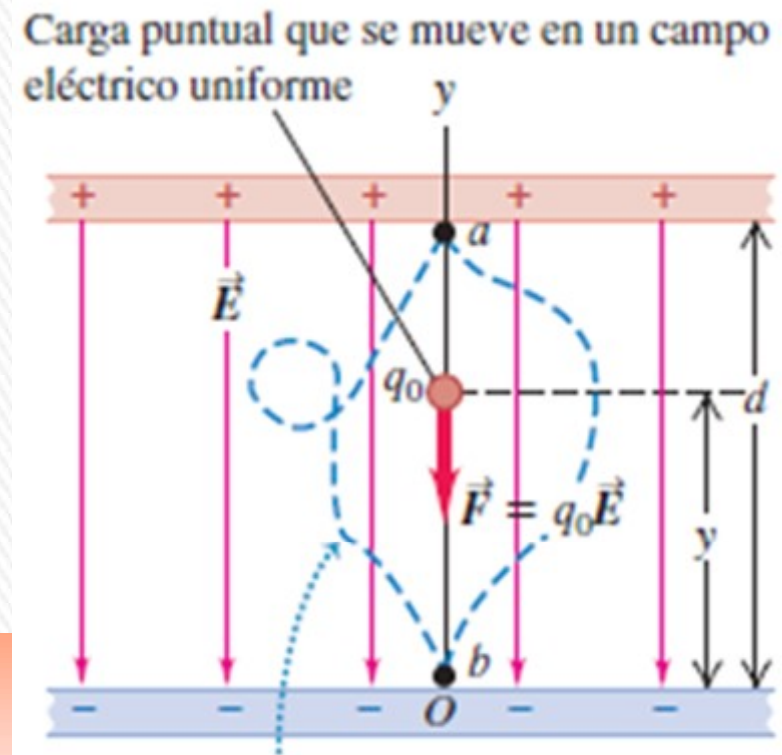
El trabajo  $W_{a \rightarrow b}$  realizado por el campo eléctrico a través de cualquier trayectoria entre  $a$  y  $b$  es el mismo.

Este trabajo puede representarse con una **función de energía potencial  $U$** .

La energía potencial para la fuerza eléctrica  $F_y = -q_0 E$  es:  **$U = q_0 E y$**

Cuando la carga de prueba se mueve de la altura  $y_a$  a la altura  $y_b$ , el trabajo realizado sobre la carga por el campo está dado por

$$W_{a \rightarrow b} = -\Delta U = -(U_b - U_a) = -(q_0 E y_b - q_0 E y_A) = q_0 E (y_A - y_b)$$

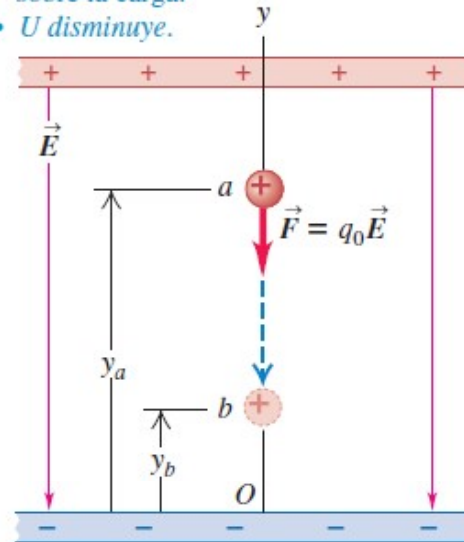




# ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA EN CAMPO UNIFORME

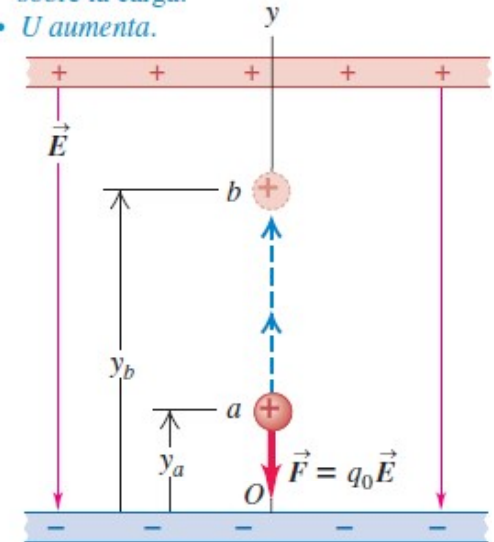
a) La carga positiva se desplaza en dirección de  $\vec{E}$ :

- El campo realiza un trabajo *positivo* sobre la carga.
- $U$  disminuye.



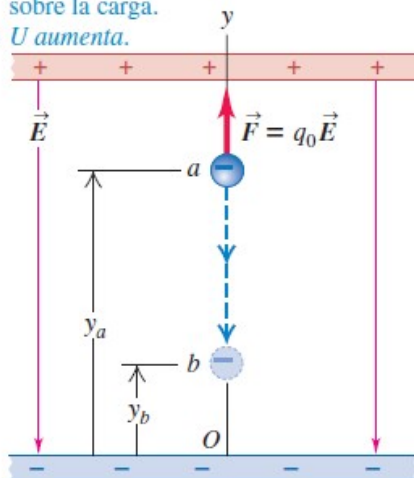
b) La carga positiva se desplaza en dirección opuesta de  $\vec{E}$ :

- El campo realiza un trabajo *negativo* sobre la carga.
- $U$  aumenta.



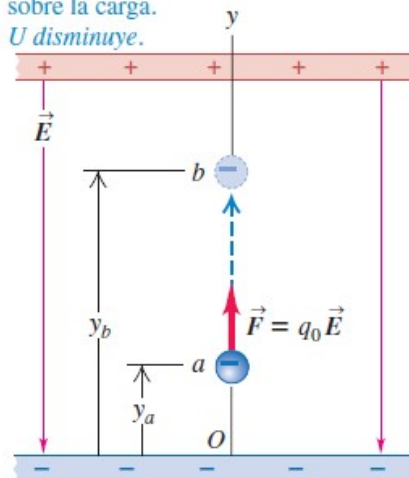
a) La carga negativa se desplaza en la dirección de  $\vec{E}$ :

- El campo realiza trabajo *negativo* sobre la carga.
- $U$  aumenta.



b) La carga negativa se desplaza en dirección opuesta de  $\vec{E}$ :

- El campo realiza trabajo *positivo* sobre la carga.
- $U$  disminuye.



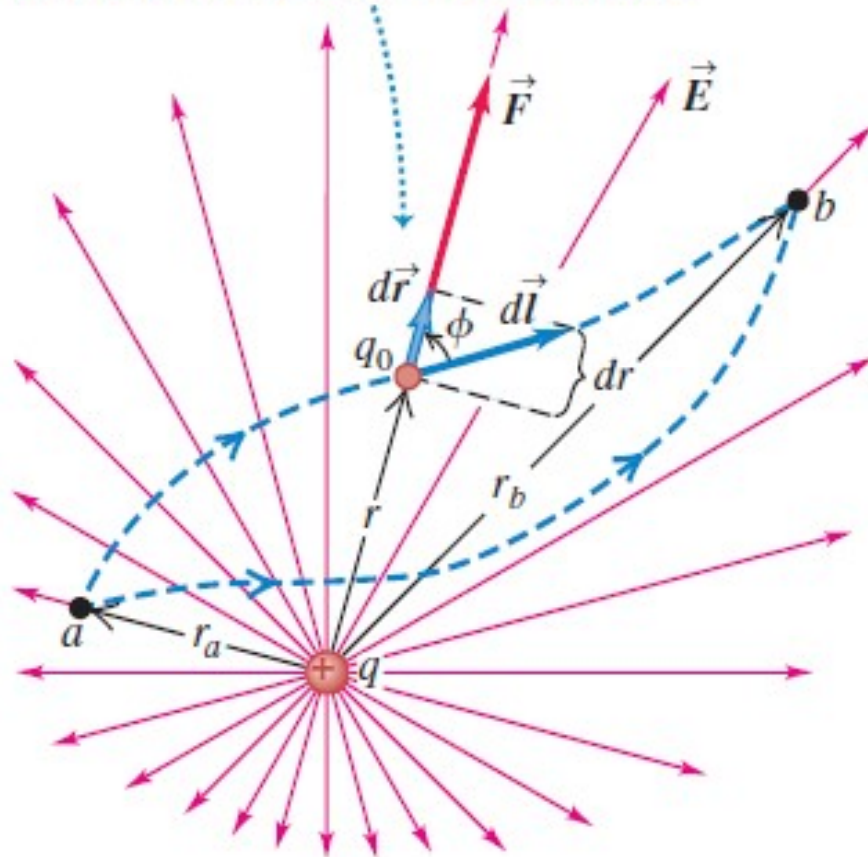
Sea  $q_0$  positiva o negativa, se aplica la siguiente regla general:  
 **$U$  aumenta si la carga de prueba  $q_0$  se mueve en el sentido opuesto a la fuerza eléctrica  $F=q_0E$ ; es decir si el campo eléctrico realiza un trabajo negativo.**  
 **$U$  disminuye si  $q_0$  se mueve en el mismo sentido que  $F = q_0E$ .**



## ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA DE DOS CARGAS PUNTUALES

Trabajo realizado sobre una carga  $q_0$  que se mueve en el campo eléctrico creado por otra carga puntual estacionaria  $q$ .

La carga de prueba  $q_0$  se desplaza de  $a$  a  $b$  a lo largo de una trayectoria arbitraria.



$$W_{a \rightarrow b} = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_a^b F \cos \phi \, dl$$

$$W_{a \rightarrow b} = \int_{r_a}^{r_b} F \, dr = \int_{r_a}^{r_b} k_E \frac{q_0 q}{r^2} \, dr$$

$$W_{a \rightarrow b} = k_E q_0 q \left( -\frac{1}{r} \right) \Big|_{r_a}^{r_b}$$

$$W_{a \rightarrow b} = k_E q_0 q \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right)$$

$$W_{a \rightarrow b} = \frac{q q_0}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right)$$

El trabajo efectuado por la fuerza eléctrica, para un desplazamiento cualquiera, depende solo de los puntos en los extremos.

Esto es una consecuencia de que la fuerza es **conservativa**

## ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA DE DOS CARGAS PUNTUALES

Como:  $W_{A \rightarrow B} = U_A - U_B = -(U_B - U_A) = -\Delta U$

Podemos definir que la energía potencial cuando  $q_0$  está a una distancia  $r_a$  de  $q$  vale:

$$U_a = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r_a} \quad \text{análogamente} \quad U_b = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r_b}$$

La energía potencial  $U$  cuando la carga de prueba  $q_0$  está a cualquier distancia  $r$  de la carga  $q$  es

$$U = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r}$$

energía potencial  
eléctrica de dos cargas  
puntuales  $q$  y  $q_0$

Válido independientemente de los signos de  $q$  y  $q_0$ .

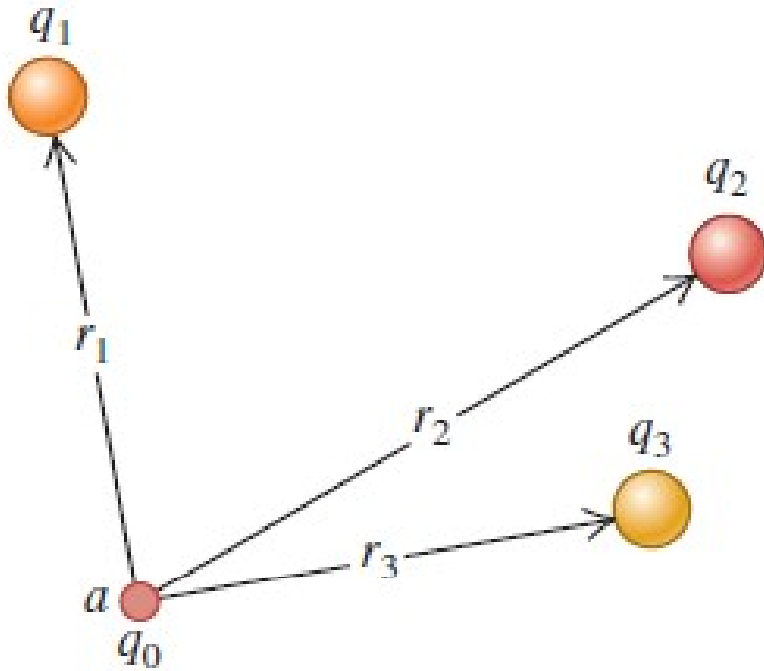
La energía potencial es positiva si las cargas  $q$  y  $q_0$  tienen el mismo signo, y negativa si tienen signos opuestos

La energía potencial siempre se define en relación con algún punto de referencia donde  $U = 0$ .

$U = 0$  si  $q$  y  $q_0$  están infinitamente alejadas y  $r = \infty$

Por lo tanto,  $U$  representa el trabajo que realizaría el campo de  $q$  sobre la carga de prueba  $q_0$  si esta última se desplazara de una distancia inicial  $r$  al infinito.

## ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA DE VARIAS CARGAS PUNTUALES



Carga  $q_0$  que se desplaza en una región donde hay un campo  $\mathbf{E}$  creado por varias cargas.

La energía potencial asociada con la carga  $q_0$  en el punto *a* debido a una distribución de cargas  $q_1, q_2, q_3, \dots$  vale:

$$U = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} + \dots \right) = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

*U es igual a cero cuando todas las distancias  $r_1, r_2, \dots$  son infinitas, es decir, cuando la carga de prueba  $q_0$  está muy lejos de todas las cargas que producen el campo.*



## ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA DE UN ARREGLO DE CARGAS

También hay energía potencial implicada en el arreglo de las cargas.

Si se comienza con las cargas  $q_1, q_2, q_3, \dots$ , todas separadas entre sí por distancias infinitas, y luego se acercan de manera que la distancia entre  $q_i$  y  $q_j$  sea  $r_{ij}$ , *la energía potencial total  $U$  es la suma de las energías potenciales de interacción de cada par de cargas.*

La suma se extiende sobre todos los *pares de cargas*; *no se permite que  $i = j$  (porque eso sería la interacción de una carga consigo misma), y solo se incluyen términos con  $i < j$  para garantizar que cada par de cargas se tome en cuenta solo una vez.*

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i < j} \frac{q_i q_j}{r_{ij}}$$

*Se toma en cuenta la interacción entre  $q_3$  y  $q_4$ , se incluye un término con  $i = 3$  y  $j = 4$ , pero no un término con  $i = 4$  y  $j = 3$ .*

Por ejemplo para 4 cargas  $q_1, q_2, q_3$  y  $q_4$ , sería:

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_1 q_4}{r_{14}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}} + \frac{q_2 q_4}{r_{24}} + \frac{q_3 q_4}{r_{34}} \right)$$

## PREGUNTA RÁPIDA N° 1



Un protón se mueve desde el punto A hasta el punto B, en el mismo sentido y dirección que un campo eléctrico externo uniforme  $E$ . En este movimiento:

- A) El trabajo realizado por el campo eléctrico es positivo y la energía potencial del sistema campo eléctrico-protón aumenta.
- B) El trabajo realizado por el campo eléctrico es negativo y la energía potencial del sistema campo eléctrico-protón aumenta.
- C) El trabajo realizado por el campo eléctrico es positivo y la energía potencial del sistema campo eléctrico-protón disminuye.
- D) El trabajo realizado por el campo eléctrico es negativo y la energía potencial del sistema campo eléctrico-protón disminuye.
- E) El trabajo realizado por el campo eléctrico es positivo y la energía potencial del sistema campo eléctrico-protón no cambia.
- F) El trabajo realizado por el campo eléctrico es negativo y la energía potencial del sistema campo eléctrico-protón no cambia.



## PREGUNTA RÁPIDA N° 2

Una partícula con una carga  $Q = 5,0 \times 10^{-8} \text{ C}$  está fija en el origen. Otra partícula con carga  $q = -1,0 \times 10^{-8} \text{ C}$  se mueve desde el punto  $x = 5,0 \text{ cm}$ , en el eje  $x$ , al punto  $y = 5,0 \text{ cm}$  en el eje  $y$ .

El cambio en la energía potencial eléctrica del sistema vale:

A)  $1,8 \times 10^{-4} \text{ J}$

B)  $-1,8 \times 10^{-4} \text{ J}$

C)  $9,0 \times 10^{-5} \text{ J}$

D)  $-9,0 \times 10^{-5} \text{ J}$

E) 0

F)  $-3,3 \times 10^{-6} \text{ J}$

G) Ninguno de los indicados

