

CURSO CERO DE FÍSICA

ELECTROSTÁTICA

Miguel Ángel Monge
Departamento de Física



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

CONTENIDO

- **Carga eléctrica.**
- **Fuerzas entre cargas eléctricas: Ley de Coulomb.**
- **Campo eléctrico.**
- **Trabajo y energía: Potencial electrostático.**

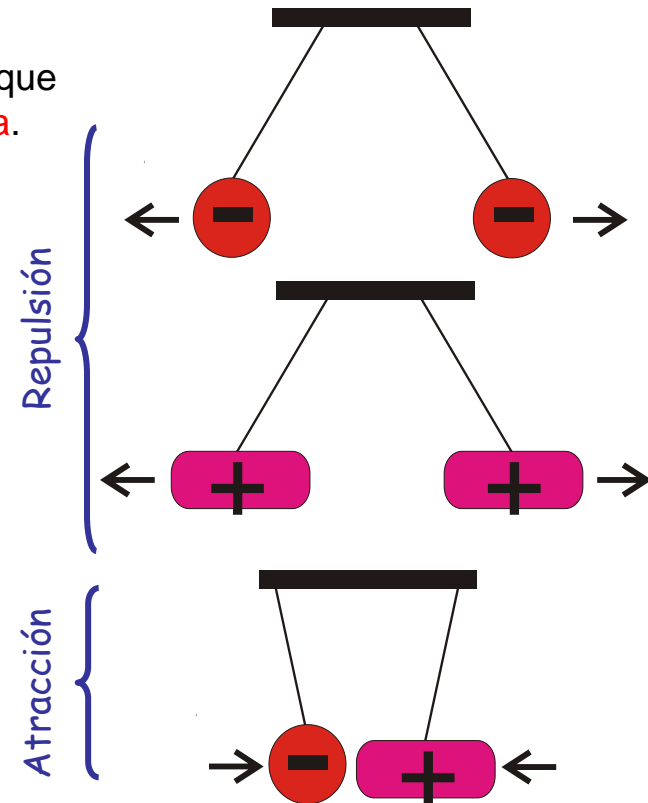
CARGA ELÉCTRICA

Una de las propiedades fundamentales de algunos objetos es que además de masa poseen otra propiedad denominada **carga eléctrica**.

Al igual que todos los objetos que poseen masa, por el simple hecho de tener esa propiedad, interactúan entre sí atrayéndose, los objetos que tienen carga eléctrica también interactúan con otros objetos que tengan carga eléctrica. Esta interacción se denomina interacción electrostática.

Como hay dos tipos de carga eléctrica: positiva y negativa, la fuerza con que interactúan los objetos cargados puede ser atractiva o repulsiva:

- Si dos objetos tienen igual carga eléctrica se repelen.
- Si dos objetos tienen distinta carga, uno positiva y otro negativa, se atraen.



La unidad en que se mide la carga eléctrica en el Sistema Internacional es el **Culombio (C)**

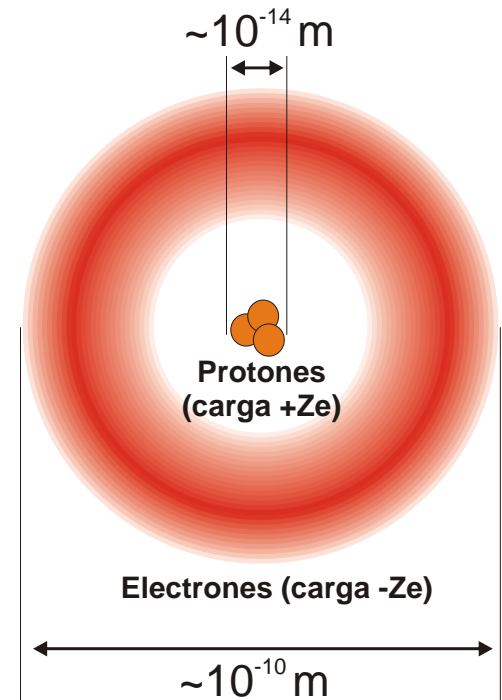
CARGA ELÉCTRICA

Un culombio de carga es una cantidad de carga muy grande. En nuestro entorno o en cualquier dispositivo electrónico, la cantidad de carga eléctrica que se manifiesta es pequeña. Por eso, se usan siempre fracciones de carga de un culombio, que se denominan:

$$\text{Submúltiplos del Culombio} \begin{cases} 1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C} = \text{un nanoculombio} \\ 1 \text{ } \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C} = \text{microculombio} \\ 1 \text{ mC} = 10^{-3} \text{ C} = \text{miliculombio} \end{cases}$$

Como ejemplo, todos los átomos de que está formada la materia normal tienen partículas cargadas. Los protones están en el núcleo y tienen carga positiva, y los electrones se encuentran en torno al átomo y tienen carga negativa. La menor carga eléctrica que existe en la naturaleza es la carga de un electrón y su valor es:

$$\text{Carga del electrón} = e^- = -1,602177 \times 10^{-19} \text{ C}$$



CONSERVACIÓN DE LA CARGA ELÉCTRICA: Una de las leyes fundamentales de la naturaleza es la conservación de la carga eléctrica. La carga eléctrica total de un sistema aislado siempre es la misma.

Fuerzas entre cargas eléctricas: Ley de Coulomb.

La ley de Coulomb determina la fuerza que experimenta una carga eléctrica debido a la presencia de otra carga eléctrica. La fuerza que experimenta la carga q_2 en el punto P_2 debido a la presencia de la carga q_1 en la posición P_1 es:

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_{12}|^2} \vec{u}_{r_{12}}$$

Donde:

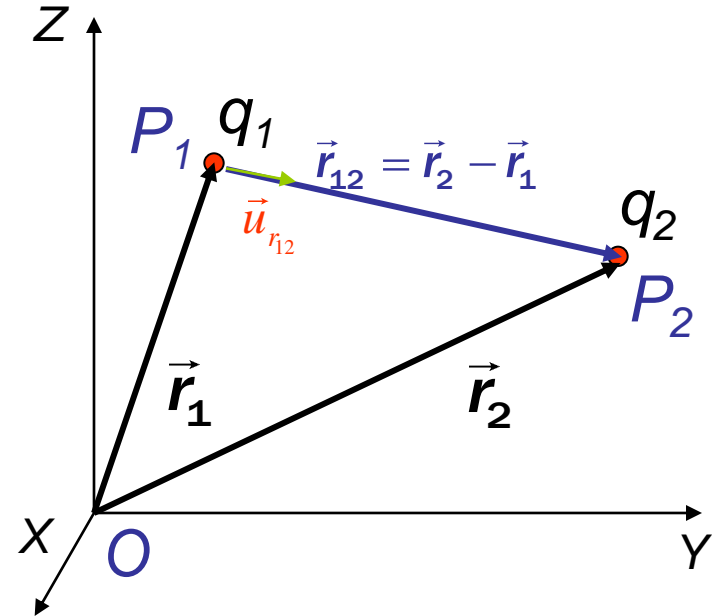
- ϵ_0 es un constante universal denominada *Permitividad eléctrica del vacío*:

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N m}^2$$

- \vec{r}_1 es el vector posición de la carga q_1 en P_1 : $\vec{r}_1 = P_1 - O$
- \vec{r}_2 es el vector posición de la carga q_2 en P_2 : $\vec{r}_2 = P_2 - O$
- \vec{r}_{12} es el vector que determina la posición de la carga q_2 respecto de q_1 , y $|\vec{r}_{12}|$ es la distancia entre cargas:

$$\vec{r}_{12} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 ; |\vec{r}_{12}| = \sqrt{x_2 - x_1^2 + y_2 - y_1^2 + z_2 - z_1^2}$$

- \vec{u}_{12} es un vector unitario en la dirección y sentido de \vec{r}_{12} : $\vec{u}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|}$



Fuerzas entre cargas eléctricas: Ley de Coulomb.

NOTA: En introductorios de Física, la ley de Coulomb se expresa en ocasiones como:

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{u}_{r_{12}}$$

donde **k** es denominada **constante de Coulomb**, cuyo valor cuando las cargas eléctricas se encuentran en el vacío es, en el SI:

$$k=1/(4\pi\epsilon_0) \sim 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$$

Esta forma de expresar la ley de Coulomb, aunque es correcta, no es adecuada para la comprensión de los fenómenos electrostáticos y no se utiliza en cursos superiores de Física, ya que conduce fácilmente a errores.

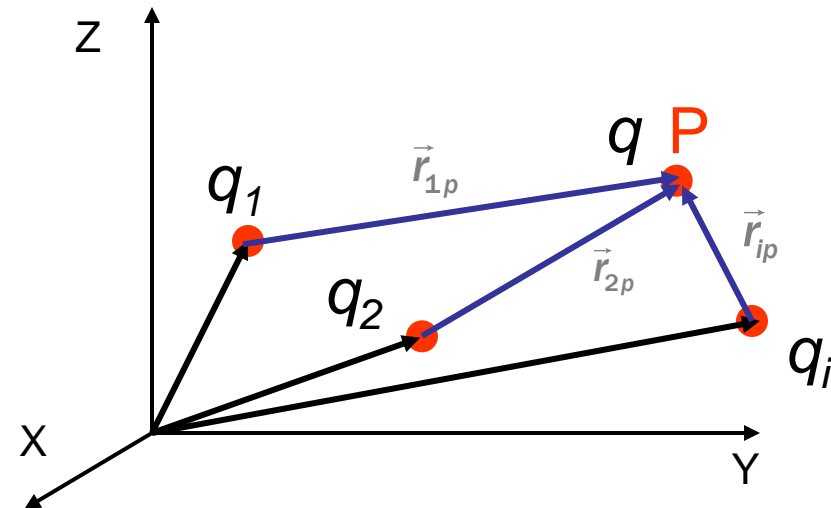
Se aconseja acostumbrarse al formalismo presentado anteriormente, ya que es el universalmente utilizado en el estudio de fenómenos electromagnéticos.

Fuerzas entre cargas eléctricas: Ley de Coulomb.

La ley de Coulomb solo permite calcular la fuerza que una carga eléctrica ejerce sobre otra. ¿Qué sucede cuando hay varias cargas eléctricas ejerciendo una fuerza resultante sobre otra carga?

Principio de superposición:

La fuerza total o resultante que experimenta una carga eléctrica q en el punto P debido a la presencia de N cargas eléctricas q_i en los puntos P_i , es la suma vectorial de la fuerza que cada carga eléctrica q_i ejerce sobre la carga q según la ley de Coulomb.



$$\vec{F} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_{iP} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{|\vec{r}_{iP}|^2} \vec{u}_{r_{iP}}$$

Otra forma de expresar el principio de superposición es: La fuerza total experimentada por la carga q es la suma de las fuerzas que por separado ejerce cada carga q_i sobre la carga q .

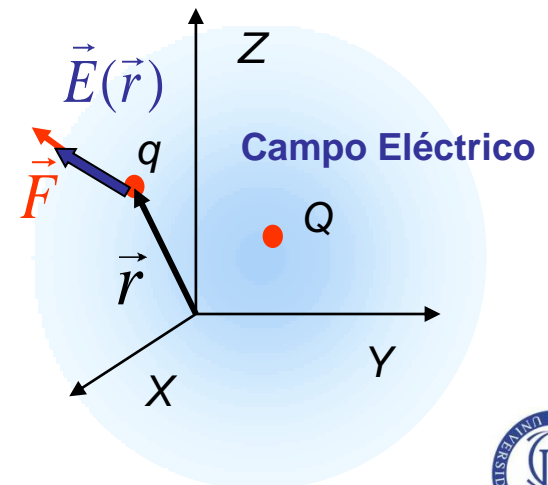
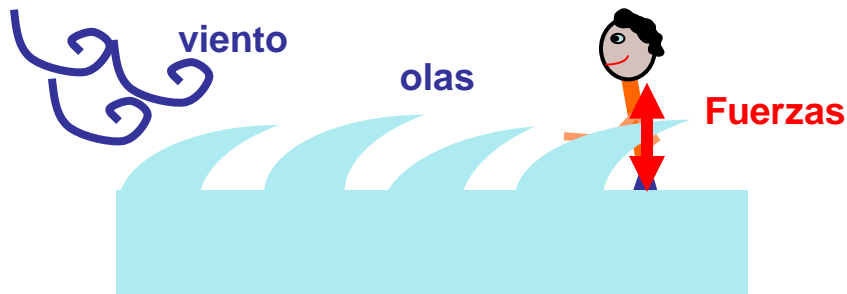
CAMPO ELECTRICO.

El concepto de campo eléctrico, \mathbf{E} , surge de la necesidad de comprender como se transmiten las fuerzas eléctricas entre las cargas eléctricas. La interacción entre cargas eléctricas no es instantánea.

Una carga eléctrica Q crea en todo el espacio que la rodea un **Campo Eléctrico** \mathbf{E} . Si situamos una carga eléctrica q en una región donde existe un campo eléctrico \mathbf{E} , la carga experimentará un fuerza al interactuar con ese campo eléctrico \mathbf{E} dada por:

$$\vec{F} = q \vec{E}(\vec{r})$$

Lo podemos imaginar como si la carga Q alterase todo su entorno de forma similar a como una tormenta situada a muchos kilómetros de la playa genera olas por todo el mar. Si una persona se baña en el mar, interactúa con las olas que ocupan su posición y experimenta fuerzas, aunque el origen de las olas esté muy lejos. De igual manera, la carga q interactúa con el campo eléctrico \mathbf{E} que se encuentra en su posición, aunque la carga Q que lo produce esté lejos.

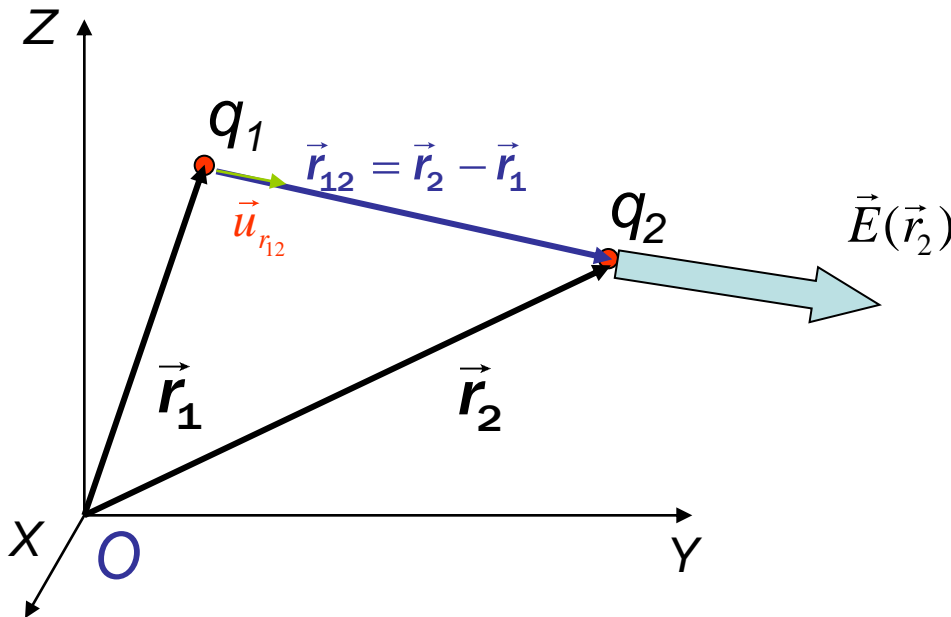


CAMPO ELÉCTRICO.

Para que la ley de Coulomb y la expresión anterior, $\mathbf{F} = q \mathbf{E}$, sean compatibles, el campo eléctrico deberá estar definido como:

$$\vec{E}(\vec{r}_2) = \frac{\vec{F}}{q_2}$$

Por tanto, introduciendo la expresión de la fuerza dada por la ley de Coulomb en dicha expresión, se obtiene que el campo eléctrico creado por la carga q_1 en el punto \vec{r}_2 es:



$$\vec{E}(\vec{r}_2) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{|\vec{r}_{12}|^2} \vec{u}_{r_{12}}$$

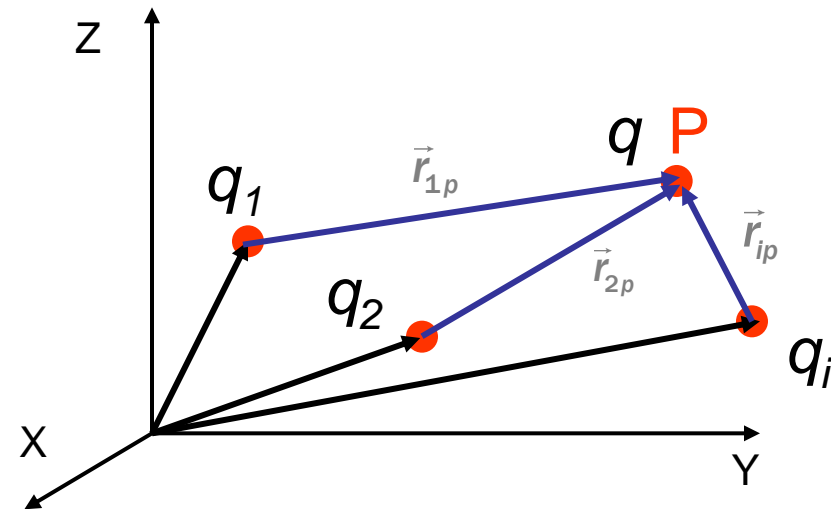
Es importante apreciar que el campo eléctrico es un vector cuyo valor depende del punto del espacio donde lo estemos calculando.

Campo Eléctrico.

Como sucedió con la ley de Coulomb, la expresión anterior solo permite calcular el campo eléctrico \vec{E} creado por una única carga en un punto del espacio. ¿Cuál será el campo creado por varias cargas en un punto del espacio?

Principio de superposición:

El campo eléctrico total en un punto del espacio P creado por N cargas eléctricas q_i situadas en los puntos P_i , es la suma vectorial del campo eléctrico que cada carga crea por separado en dicho punto P.



$$\vec{E}(\vec{r}_P) = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i(\vec{r}_P) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{|\vec{r}_{iP}|^2} \vec{u}_{r_{iP}}$$

Otra forma de expresar el principio de superposición es: El campo eléctrico total creado por muchas cargas en un punto del espacio, es igual a la suma de los campos eléctricos que cada carga crea en dicho punto.

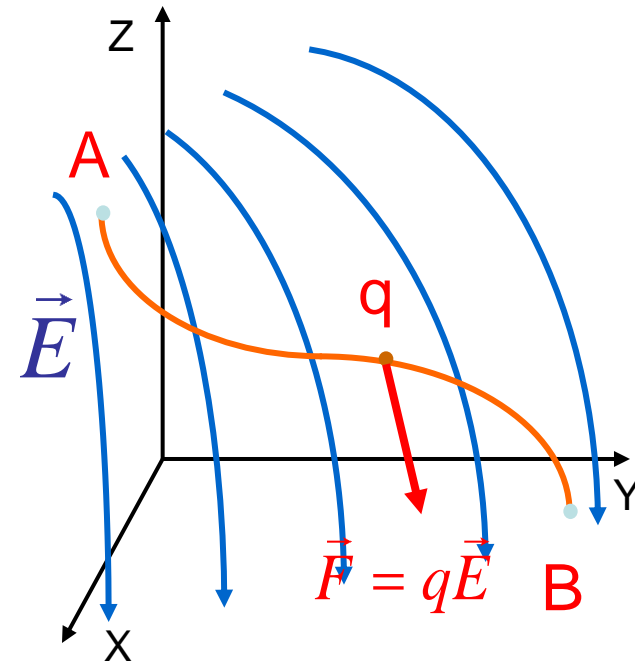
Trabajo y energía: Potencial electrostático.

Cuando en una región del espacio donde hay un campo eléctrico situamos un objeto con una carga eléctrica q , éste experimenta una fuerza, $\mathbf{F}=q \mathbf{E}$. Si deseamos mover dicha carga de un punto A a otro B del espacio habrá que realizar un trabajo.

Esto es igual que cuando en presencia del campo gravitatorio se desea mover un objeto de masa m .

En general, calcular el trabajo W para desplazar una carga eléctrica en presencia de un campo eléctrico \mathbf{E} es tarea complicada. Pero se simplifica al tener en cuenta que el campo eléctrico, igual que el campo gravitatorio, conserva la energía. Por tanto, **el campo eléctrico es un campo conservativo.**

Esto permite calcular el W necesario para desplazar una carga de un punto A a un punto B como la diferencia de energía, U , de dicha carga en ambos puntos.



$$W = \int_{r_A}^{r_B} \vec{F}(r) \cdot d\vec{r} = -\Delta U = U(\vec{r}_A) - U(\vec{r}_B)$$

Trabajo
para ir de A a B

Ecuación general
Difícil de calcular

Energías potenciales
en los puntos inicial y final

Trabajo y energía: Potencial electrostático.

Como la relación entre fuerza electrostática y campo eléctrico en que se mueve la carga es:

$$\vec{F} = q \vec{E}(\vec{r})$$

Introduciendo esta relación en la definición anterior del trabajo:

$$W = \int_{r_A}^{r_B} \vec{F}(r) \cdot d\vec{r} = \int_{r_A}^{r_B} q \vec{E}(\vec{r}) \cdot d\vec{r} = q \int_{r_A}^{r_B} \vec{E}(\vec{r}) \cdot d\vec{r} = -\Delta U$$

Se define una nueva magnitud física denominada **potencial electrostático** $V(r)$ creado por las cargas eléctricas que producen el campo eléctrico \mathbf{E} como:

$$\int_{r_A}^{r_B} \vec{E}(\vec{r}) \cdot d\vec{r} = -\frac{\Delta U}{q} = -V(\vec{r})$$

$$V(\vec{r}) = -\int_{r_A}^{r_B} \vec{E}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}$$

En el SI la unidad de medida del potencial electrostático es el voltio:

$$V = J / C = \text{V voltios}$$

Trabajo y energía: Potencial electrostático.

Así definido, la energía potencial que tiene una carga eléctrica q en un punto del espacio r por estar sometida a un campo eléctrico E es:

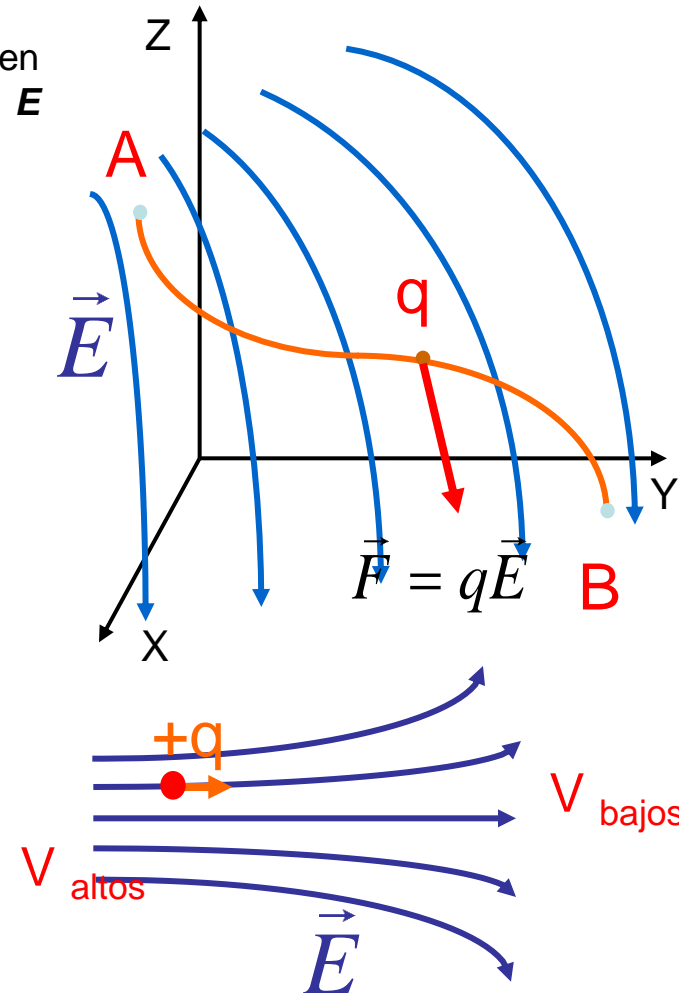
$$U(\vec{r}) = qV(\vec{r})$$

Por tanto, el trabajo necesario para desplazar la carga de un punto A a un punto B del espacio será:

$$W = q V(\vec{r}_A) - qV(\vec{r}_B)$$

Relación entre las líneas de campo E y el potencial eléctrico:

Si dejamos en libertad una carga de prueba en el seno de un campo eléctrico, se acelerará en el sentido de dicho campo a lo largo de las líneas del campo eléctrico. Al acelerarse la carga varía su energía cinética, disminuyendo su potencial. Esto quiere decir que **las líneas de campo señalan en la dirección en la que disminuye el potencial eléctrico.**



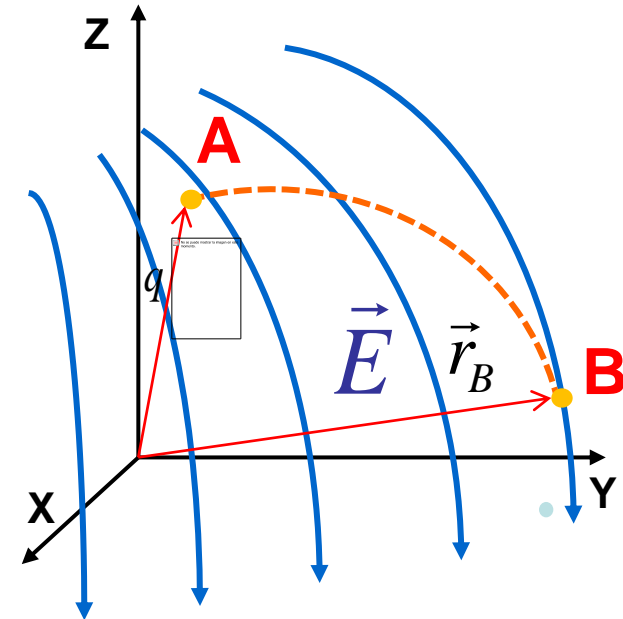
Trabajo y energía: Potencial electrostático.

Las ideas fundamentales son:

- La interacción electrostática, igual que la gravitatoria, conserva la energía.
- El trabajo necesario para llevar una carga q de un punto A a otro B es igual a la diferencia de energías de la carga en A y en B:

$$U_{A \rightarrow B} = -\Delta W_{A \rightarrow B}$$

$$\Delta W_{A \rightarrow B} = q\Delta V_{A \rightarrow B} = q(V(\vec{r}_A) - V(\vec{r}_B))$$

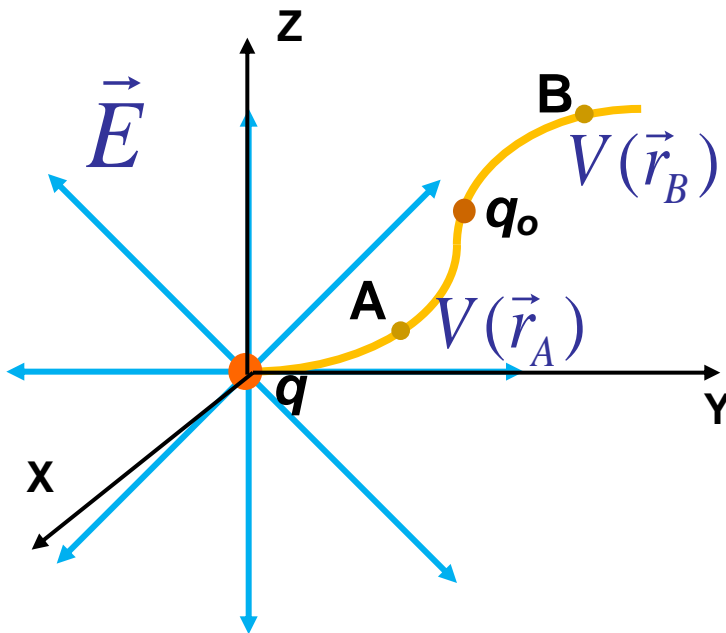


- El potencial eléctrico es una nueva magnitud física que nos permite calcular la energía potencial que la carga q tiene por encontrarse en un campo eléctrico:

$$\text{Energía Potencial } (\vec{r}_A) = U(\vec{r}_A) = qV(\vec{r}_A)$$

Trabajo y energía: Potencial electrostático.

Es sencillo obtener la expresión del **potencial electrostático creado por una carga puntual q** a partir del campo eléctrico que produce.



Para ello calculamos el trabajo que se realiza para llevar otra carga de prueba q_0 de un punto A a otro B:

$$V(\vec{r}_B) - V(\vec{r}_A) = - \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{E}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}$$

Si ponemos la expresión del campo eléctrico creado por la carga puntual q , la integral es sencilla:

$$- \int_{r_A}^{r_B} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{r_B} - \frac{q}{r_A} \right)$$

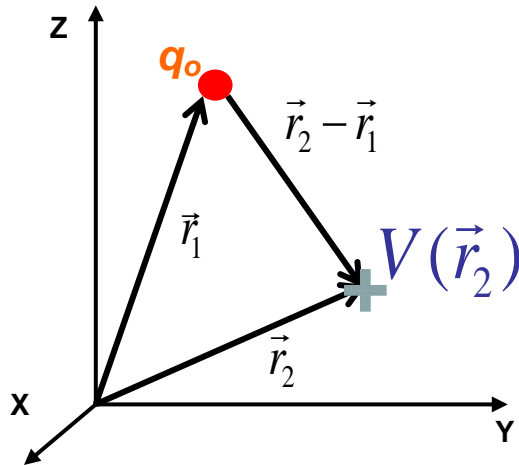
Tomando como origen de potenciales el infinito, podemos identificar el punto B= r y A= ∞ :

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{|\vec{r}|}$$

Fijarse en que $|\vec{r}|$ es la distancia de la carga q que produce el potencial, al punto donde se calcula.

Trabajo y energía: Potencial electrostático.

Expresión general del potencial de una carga puntual:



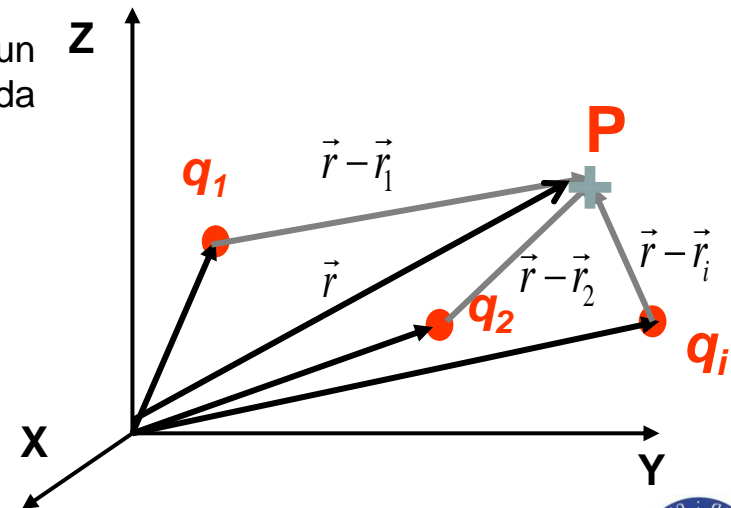
Una carga q situada en el punto dado por el vector de posición r_1 crea un potencial eléctrico en un punto del espacio r_2 dado por:

$$V(\vec{r}_2) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|}$$

Principio de superposición:

El potencial eléctrico creado por N cargas eléctricas q_i , en un punto del espacio r , es la suma del potencial creado por cada una de ellas en el punto r .

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|}$$



PROBLEMA INTERACTIVO.

Intenta solucionar este problema del del proyecto Newton.

http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/qE/index.html



- El proyecto Newton es un recurso de aprendizaje de Física del Ministerio de Educación y Ciencia (Gobierno de España) accesible mediante Internet en <http://recursostic.educacion.es/newton/web/index.html> o CD-ROM en http://recursostic.educacion.es/newton/web/descarga_CD_newton.htm, bajo las condiciones allí estipuladas.
- Para el correcto funcionamiento de todas las animaciones es necesaria la instalación del “plugin” (4.41), sobre lo que se declina toda responsabilidad.
- Los autores de este curso no se responsabilizan de cualquier consecuencia resultante de la utilización de estos enlaces o recursos.