

# CAMPO LEY DE COULOMB Y ELÉCTRICO I

- 1 Introducción.
- 2 Carga eléctrica.
- 3 Ley de Coulomb.
- 4 Campo eléctrico y principio de superposición.
- 5 Líneas de campo eléctrico.

## BIBLIOGRAFÍA:

- Tipler-Mosca. "Física". Cap. 21 de la 5ª edición Tomo II. Reverté .
- Serway. "Física". Cap. 23 y 24. McGraw-Hill.



# 1. Carga eléctrica

Electrostática = estudio de las cargas eléctricas en reposo

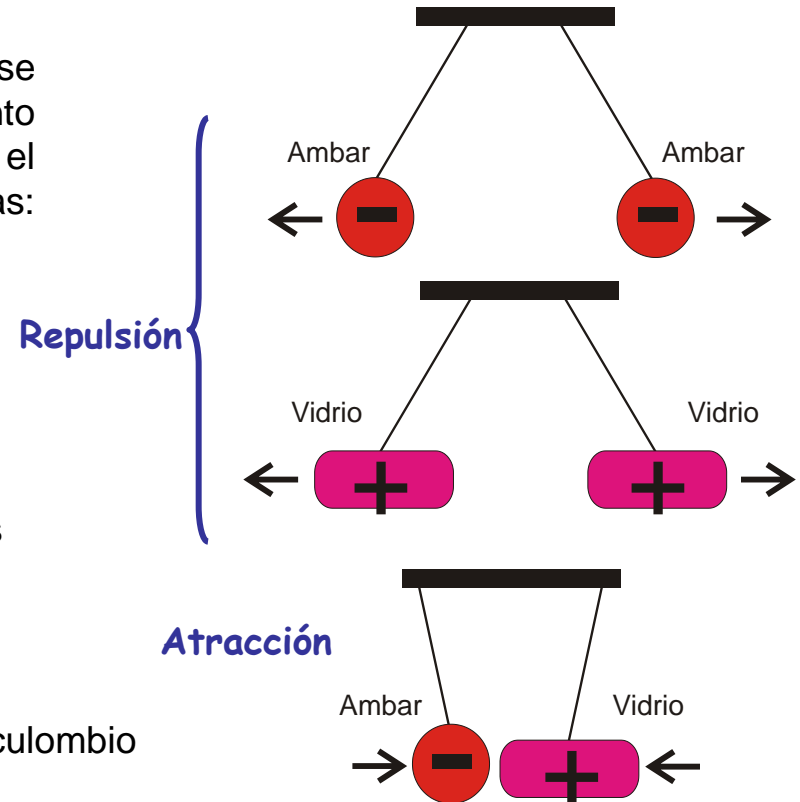
En el S.I. La unidad de carga es el **Culombio (C)** que se define como la cantidad de carga que fluye por un punto de un conductor en un segundo cuando la corriente en el mismo es de 1 A. Existen dos tipos de cargas eléctricas: las positivas y las negativas.

Mínima carga posible = carga del electrón

$$|e^-| = 1.602177 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Es una magnitud fundamental de la física y es responsable de la interacción electromagnética.

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



# 1. Carga eléctrica

La materia está formada por partículas elementales como el electrón y otras compuestas como el protón y el neutrón. Las partículas elementales pueden tener carga y masa.

Partícula	Masa (kg)	Carga (C)
electrón	$9.1 \times 10^{-31}$	$-1.6 \times 10^{-19}$
protón	$1.67 \times 10^{-27}$	$+1.6 \times 10^{-19}$
neutrón	$1.67 \times 10^{-27}$	0

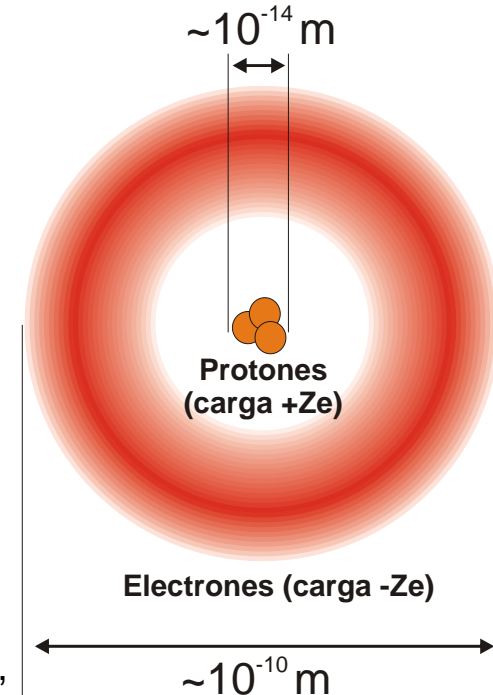
**Z** = Llamado número atómico, es el número de protones

**A** = Llamado número másico, es el número protones + neutrones

El número atómico es característico de cada elemento de la tabla periódica.

El número másico puede ser distinto en átomos del mismo elemento químico, en cuyo caso cada átomo del mismo elemento se denomina isótopo.

- Un átomo tiene el mismo número de electrones que de protones  $\rightarrow$  es **neutro**:  $Q = Z \cdot q_p - Z \cdot q_e = 0$
- Ión positivo : le faltan electrones y tiene una carga eléctrica positiva  $Q = +n_e \cdot q_e$
- Ión negativo: tiene electrones añadidos y tiene una carga eléctrica negativa  $Q = -n_e \cdot q_e$



# 1. Carga eléctrica: Conservación de la carga eléctrica

1) La carga eléctrica ni se crea ni se destruye. Puede haber transferencia de carga eléctrica entre:

- Moléculas
- Átomos
- Cuerpos

2) Al transferirse carga eléctrica, la carga total de un objeto cambia, pudiendo tener carga total positiva, negativa o neutra.

3) Un cuerpo con carga eléctrica neutra quiere decir que tiene tantas cargas positivas como negativas. No implica que no tenga cargas eléctricas.

4) Si un sistema está aislado, la suma de todas las cargas eléctricas es constante.

## 2. Ley de Coulomb: Un poco de historia

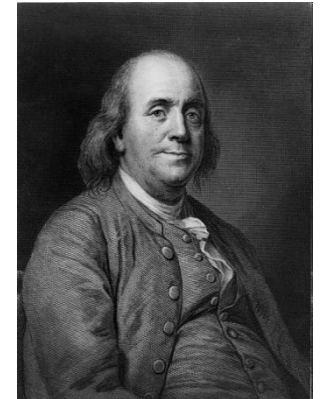
Desde el descubrimiento de fenómenos eléctricos en la antigüedad, la historia hasta una teoría electrostática es:



- William Gilbert (1540-1603) descubre como cargar objetos eléctricamente. Extiende la electrificación a todos los objetos.

- Stephen Gray (1729), demuestra que debe de existir alguna propiedad de la materia que explique la electricidad y que es independiente de los procesos usados para observarla. Estudió la transferencia de carga eléctrica entre objetos.

- Benjamin Franklin (1706-1790) demuestra que existen dos tipos de electricidad. Los denominó **positiva** y **negativa**. Inventó el pararrayos. Su teoría de los fluidos eléctricos era errónea.

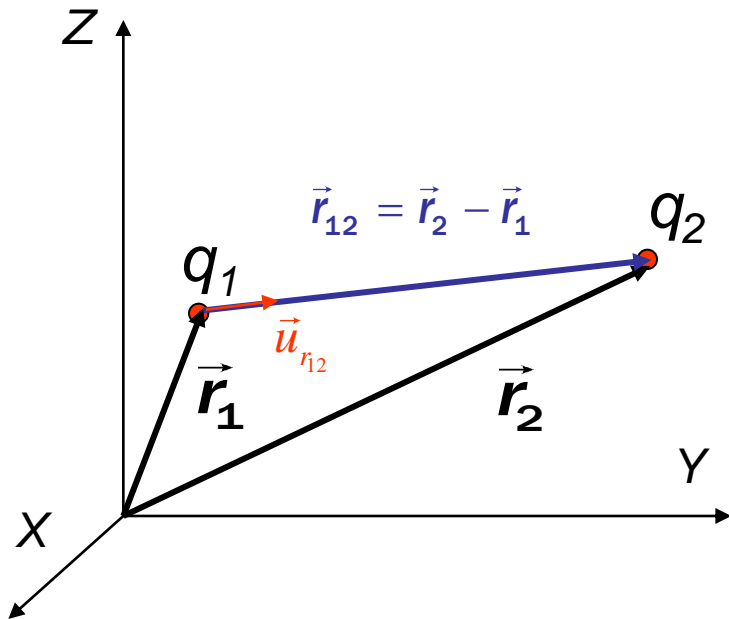


- Charles-Agustin de Coulomb (1736-1806) estableció la ley que determina la fuerza entre dos cargas eléctricas.

## 2. Ley de Coulomb: Expresión vectorial

La ley de Coulomb establece como es la fuerza que una carga eléctrica ejerce sobre otra carga eléctrica. La fuerza que ejerce la carga  $q_1$  en la posición  $\vec{r}_1$  sobre  $q_2$  en  $\vec{r}_2$  es:

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



Donde:

i) La posición de  $q_2$  respecto a  $q_1$  está dada por el vector posición relativa:

$$\vec{r}_{12} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

ii) La distancia entre  $q_2$  y  $q_1$  está dada por:

$$|\vec{r}_{12}| = r_{12} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

iii) Permitividad eléctrica del vacío,  $\epsilon_0$ , es una constante universal:

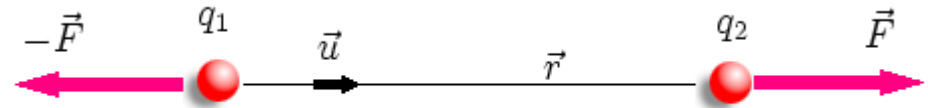
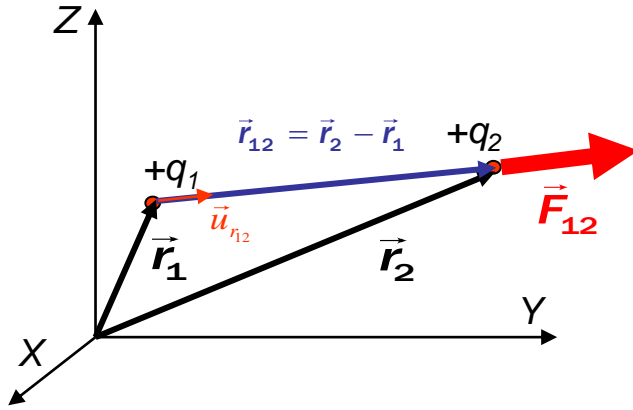
$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N m}^2$$

iv) Vector unitario  $\vec{u}_{12}$  es un vector cuyo módulo es uno e indica la dirección en que actúa la fuerza:

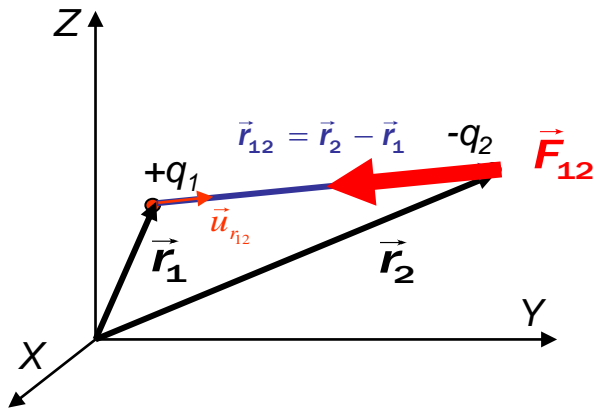
$$\vec{u}_{r_{12}} = \frac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|}$$

# 2. Ley de Coulomb: Expresión vectorial

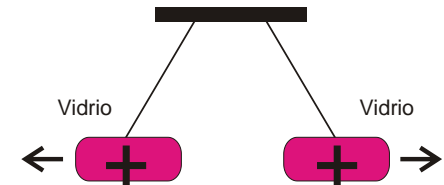
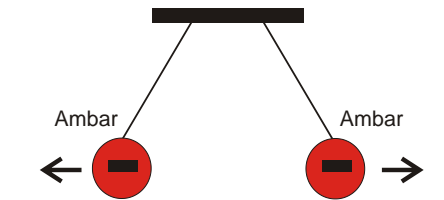
Las cargas de igual signo se repelen como muestra le figura



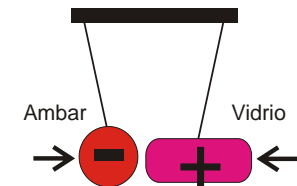
Las cargas de igual de distinto signo se atraen



Repulsión



Atracción



## 2. Ley de Coulomb: Expresión vectorial

### NOTA ACLARATORIA:

Una forma en que algunos libros expresan la ley de Coulomb es  $\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{u}_{\vec{r}_{12}}$

k: se denomina **constante de Coulomb**, cuyo valor depende del sistema de unidades y del medio en el que trabajemos.

En el vacío su valor es  $k \sim 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$

Nunca se debe confundir k, constante de Coulomb, con  $\kappa$ , constante dieléctrica que se expresa comúnmente con la letra griega *kappa*.

Esta forma de expresar la ley de Coulomb es poco conveniente en electromagnetismo.

Cuando las cargas eléctricas se encuentran en un medio distinto al vacío, se observa experimentalmente que la fuerza eléctrica es  $\kappa$  veces menor que si las cargas se encontrasen en el vacío (en medios isotrópicos, homogéneos y lineales). Por esa razón se define la **Permitividad dieléctrica del Medio**  $\epsilon$  como

$$\epsilon = \kappa \epsilon_0 \quad (\text{Se estudiará más adelante})$$

siendo  $\kappa$  la **constante dieléctrica relativa del Medio**, y  $\epsilon_0$  la ya vista para el vacío. El uso de la constante de Coulomb k puede conducir a error con  $\kappa$  y es poco práctico cuando se tienen medios materiales.

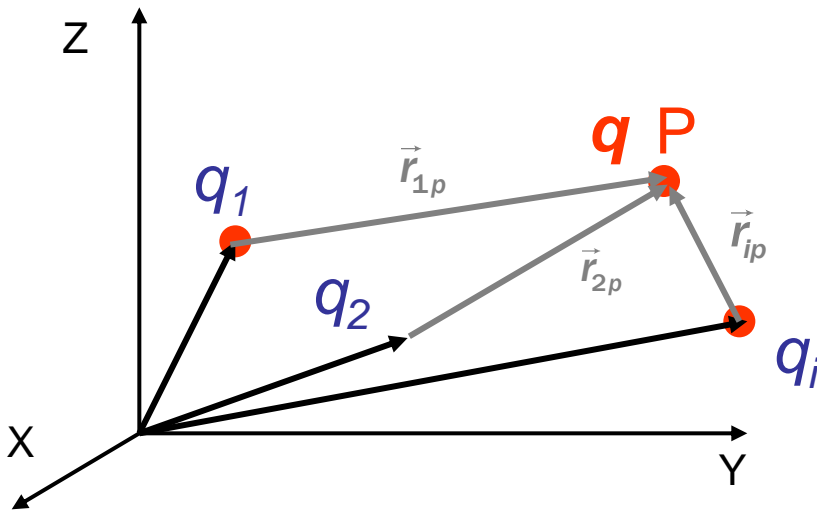


## 2. Ley de Coulomb: Principio de superposición

La ley de Coulomb solo permite calcular la interacción entre dos cargas eléctricas.

¿Cuál es la fuerza que experimenta la carga  $q$  en el punto P si hay N cargas eléctricas?

Se obtiene aplicando el **principio de superposición**: La fuerza total es la suma de todas las fuerza ejercidas por cada una de las carga sobre la carga  $q$  según la ley de Coulomb.



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

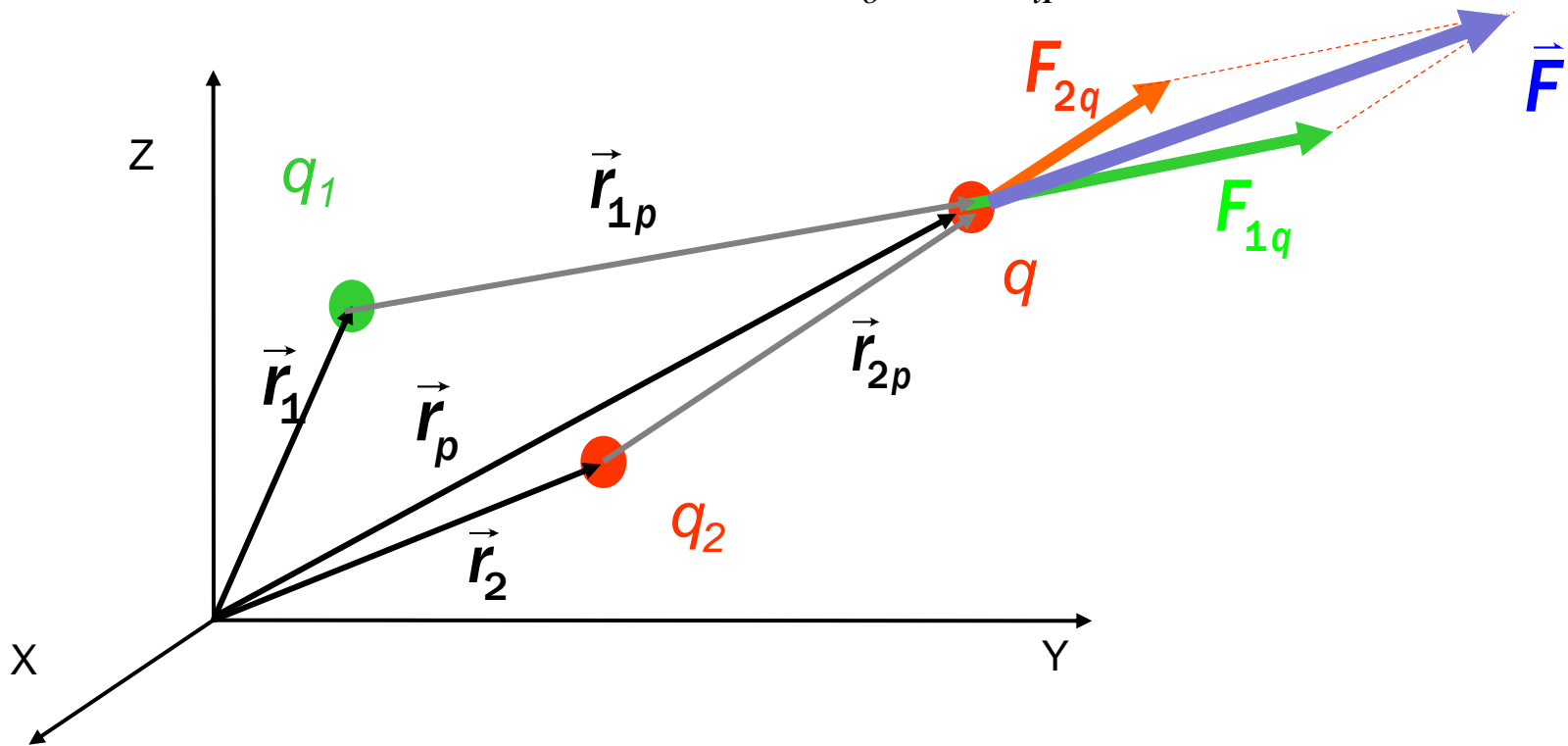
Se calcula la fuerza resultante sumando vectorialmente las fuerzas dadas por la ley de Coulomb que experimenta la carga puntual  $q$  debida a cada una de las cargas puntuales.

## 2. Ley de Coulomb: Principio de superposición

### Principio de superposición gráficamente

La fuerza que originan las cargas eléctricas  $q_1$  y  $q_2$  sobre  $q$  es la suma vectorial de la fuerza que origina  $q_1$  sobre  $q$  más la que origina  $q_2$  sobre  $q$ . Si todas las cargas son positivas.

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



## 2. Ley de Coulomb: Principio de superposición

### Ejemplo 1:

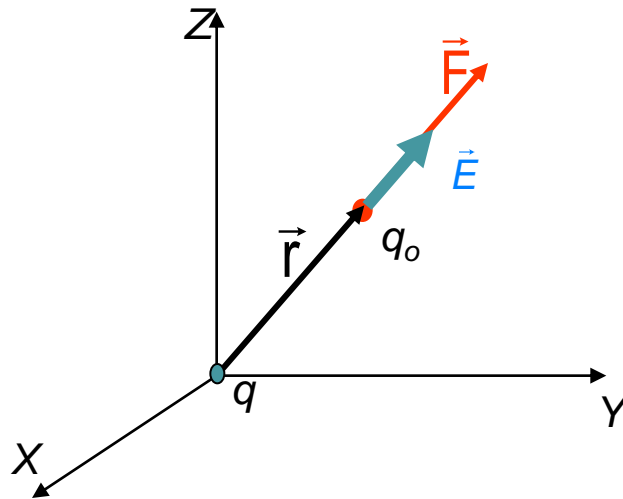
*Se tiene una carga eléctrica de  $q=2$  nC en el punto  $A=(4,0)$  m. Calcule la fuerza que experimenta dicha carga debido a la presencia de dos cargas puntuales  $q_1=3$  nC y  $q_2=-3$  nC en los puntos  $(0,2)$  y  $(0,-1)$  m.*

Solución al final de esta presentación. Intenta solucionarlo sin mirar el resultado

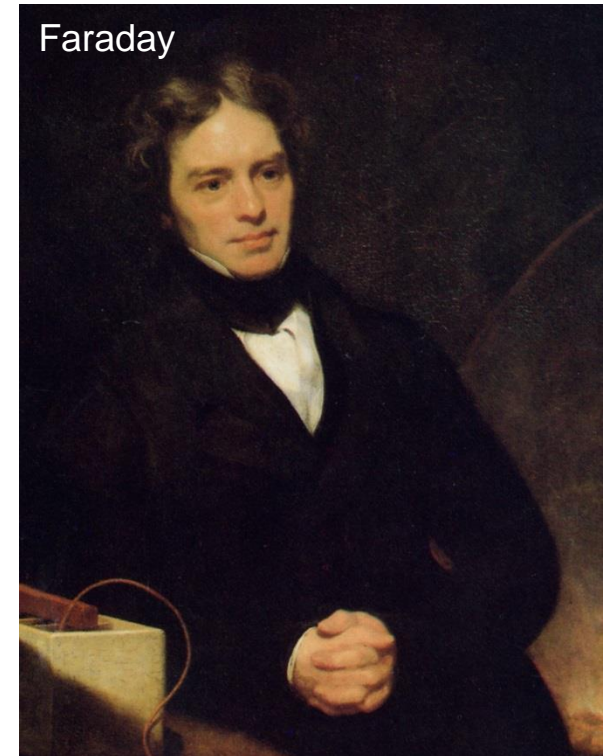
### 3. Campo Eléctrico

El campo eléctrico surge de la necesidad de comprender como se transmiten las fuerzas eléctricas entre las cargas eléctricas. La primera persona en proponer un modelo correcto fue Faraday.

La interacción entre cargas eléctricas no es instantánea. Una carga eléctrica crea en torno suyo y en todo el espacio un **Campo Eléctrico  $E$** . Cuando una carga se encuentra en un punto donde existe un campo eléctrico (ya creado por otras cargas) experimenta la fuerza electrostática dada por la ley de Coulomb. La velocidad a que se propaga en el vacío un campo eléctrico desde la carga que lo genera es la velocidad de la luz.



La carga  $q$  crea un campo eléctrico  $E$  que al actuar sobre la carga  $q_0$  hace que esta experimente una fuerza  $F$  dada por la ley de Coulomb.



[en.wikipedia.org/wiki/File:M\\_Faraday\\_Th\\_Phillips\\_oil\\_1842.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:M_Faraday_Th_Phillips_oil_1842.jpg)

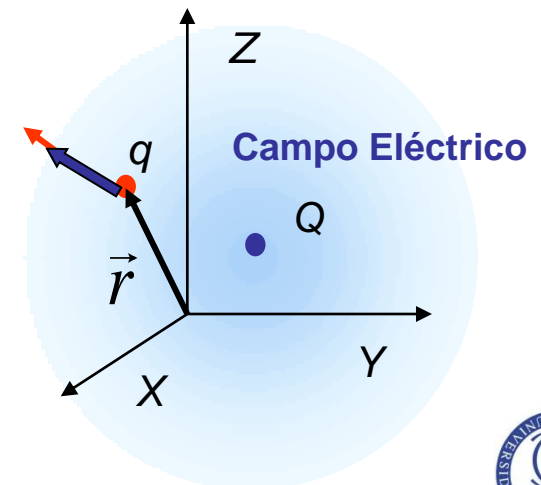
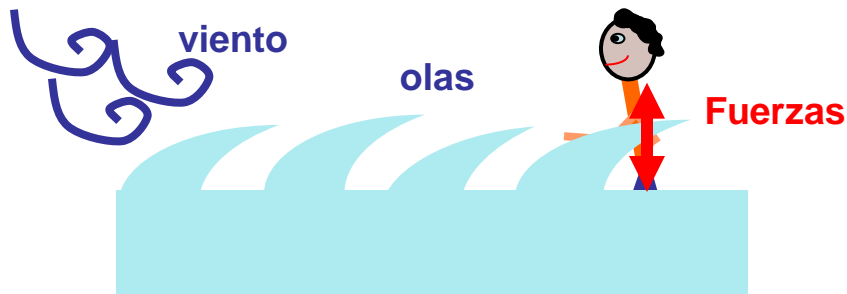
### 3. Campo Eléctrico

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 la interaccionar con ese campo eléctrico  $\mathbf{E}$  dada por:

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

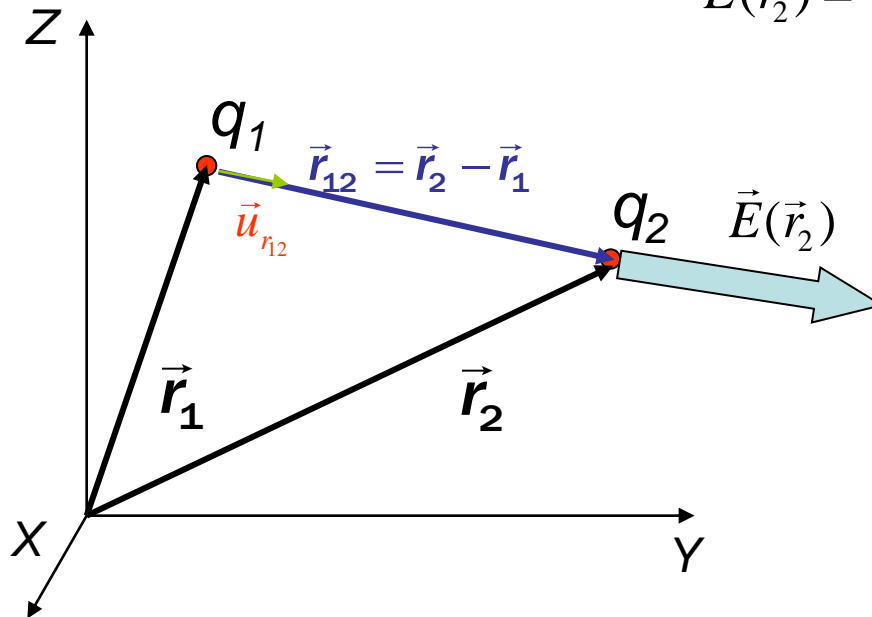
Lo podemos imaginar como si la carga  $Q$  alterase todo su entorno de forma similar a como un a tormenta situada a muchos kilómetros de la playa genera olas por todo el mar. Si una persona se baña en el mar interacciona con las olas que ocupan su posición y experimentaría fuerzas, aunque el origen de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



### 3. Campo Eléctrico

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

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



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  $q_1$ , situada  $r_1$ , en el punto  $r_2$  es:

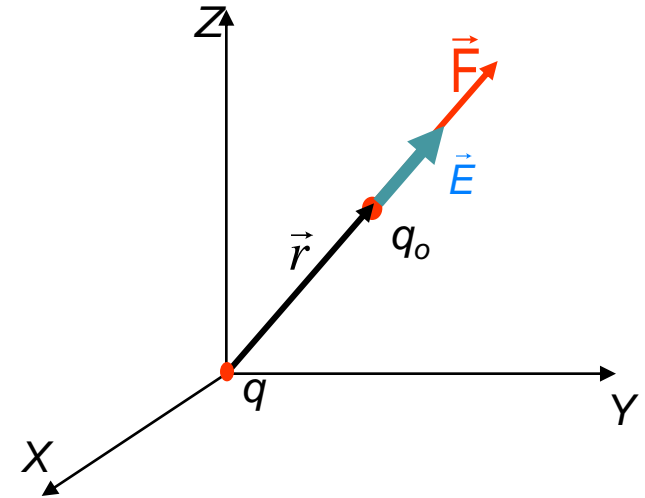
$$\vec{E}(\vec{r}_2) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{|\vec{r}_{12}|^2} \vec{u}_{r_{12}}$$

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

### 3. Campo Eléctrico

Por tanto, la única forma de saber si en un punto del espacio hay un campo eléctrico, es colocar en dicha región una **carga de prueba**,  $q_o$  (se supone que la carga es positiva y puntual), y se comprueba la fuerza que experimenta.

Por ejemplo, en la figura la carga  $q$  (suponemos que es positiva) crea un campo eléctrico  $\mathbf{E}$  el punto donde está la carga de prueba de forma que  $q_o$  experimenta una fuerza



Para que la ley de Coulomb sea correcta con la idea de un campo eléctrico  $\mathbf{E}$ , se define la **intensidad de campo eléctrico  $\mathbf{E}$**  en un punto como la fuerza por unidad de carga positiva en ese punto.

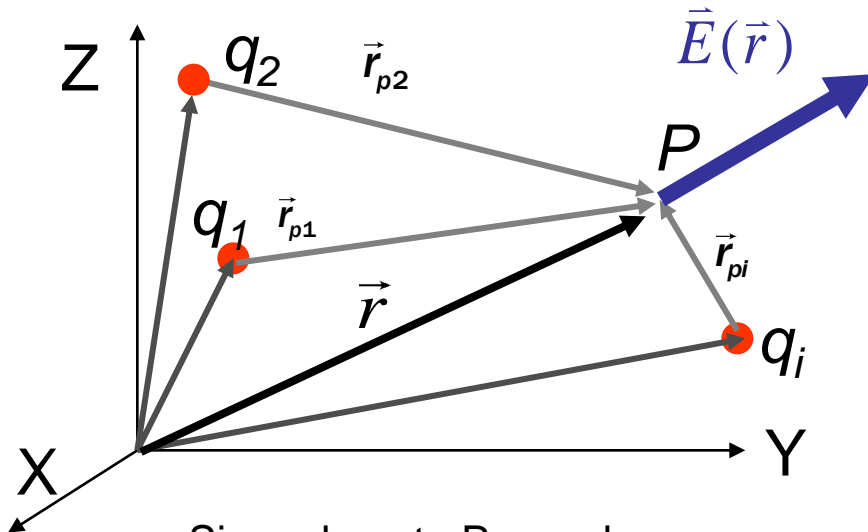
$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q_o} \quad \Rightarrow \quad \vec{F}(\vec{r}) = q_o \vec{E}(\vec{r})$$

La dirección y sentido del campo eléctrico coincide con el de la fuerza eléctrica (si la carga de prueba es positiva).

### 3. Campo Eléctrico: Principio de superposición

#### El campo eléctrico cumple el principio de superposición

El campo eléctrico creado por una distribución discreta de cargas en un punto se calcula sumando vectorialmente los campos eléctricos creados por cada una de las cargas puntuales  $q_i$  en el punto elegido P.



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

Si en el punto P se coloca una carga  $q$ , esta experimentará una fuerza:

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



### 3. Campo Eléctrico: Principio de superposición

#### Ejemplo 2:

Calcular el campo eléctrico producido en el punto  $A=(4,0)$  m por dos cargas puntuales  $q_1=3$  nC y  $q_2=-3$  nC en los puntos  $(0,2)$  y  $(0,-1)$  m.

Solución al final de esta presentación. Intenta solucionarlo sin mirar el resultado

## 3. Campo Eléctrico: Líneas de campo

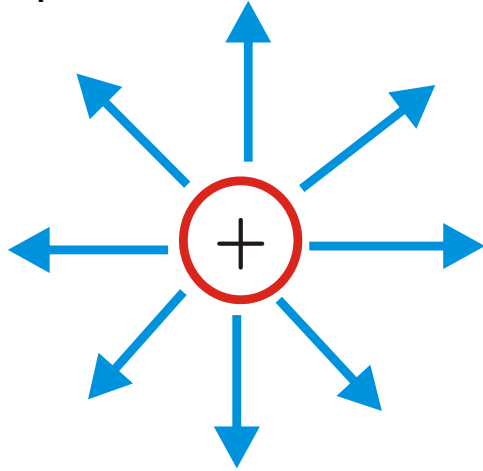
Las líneas del campo eléctrico son una forma gráfica de representar un campo vectorial para poder visualizarlo. Se dibujan de forma que el vector sea tangente a ellas en cada punto. Además su sentido debe coincidir con el de dicho vector  $E$ .

### Reglas para dibujar las líneas de campo

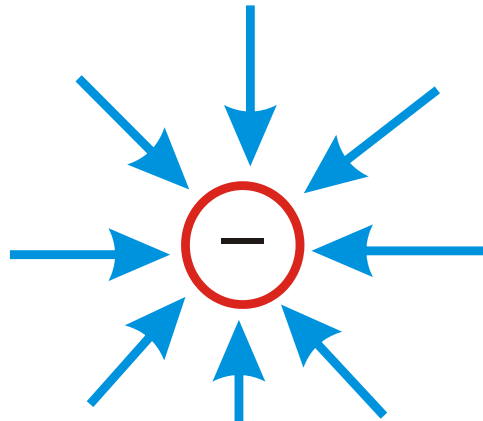
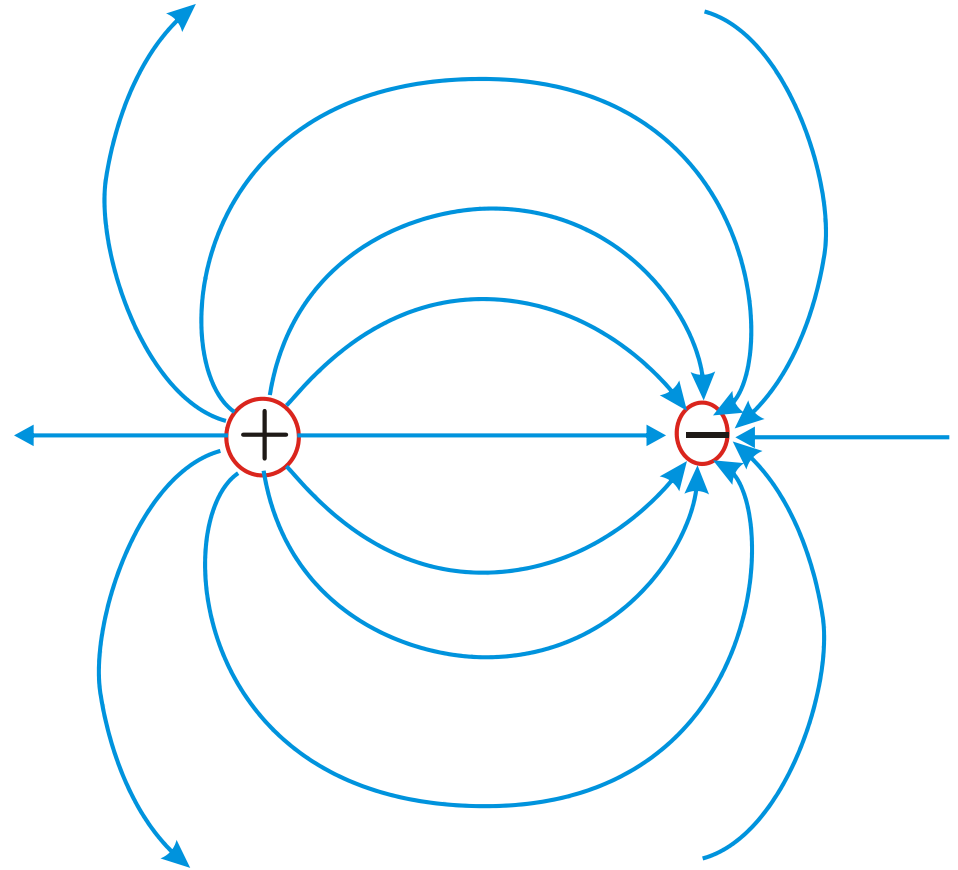
- Las líneas salen de las cargas positivas y entran en las negativas.
- El número de líneas que entran o salen es proporcional al valor de la carga.
- Las líneas se dibujan simétricamente.
- Las líneas empiezan o terminan sólo en cargas eléctricas.
- La densidad de líneas es proporcional al valor del campo eléctrico.
- Nunca pueden cortarse dos líneas de campo.

### 3. Campo Eléctrico: Líneas de campo

Carga positiva = fuente



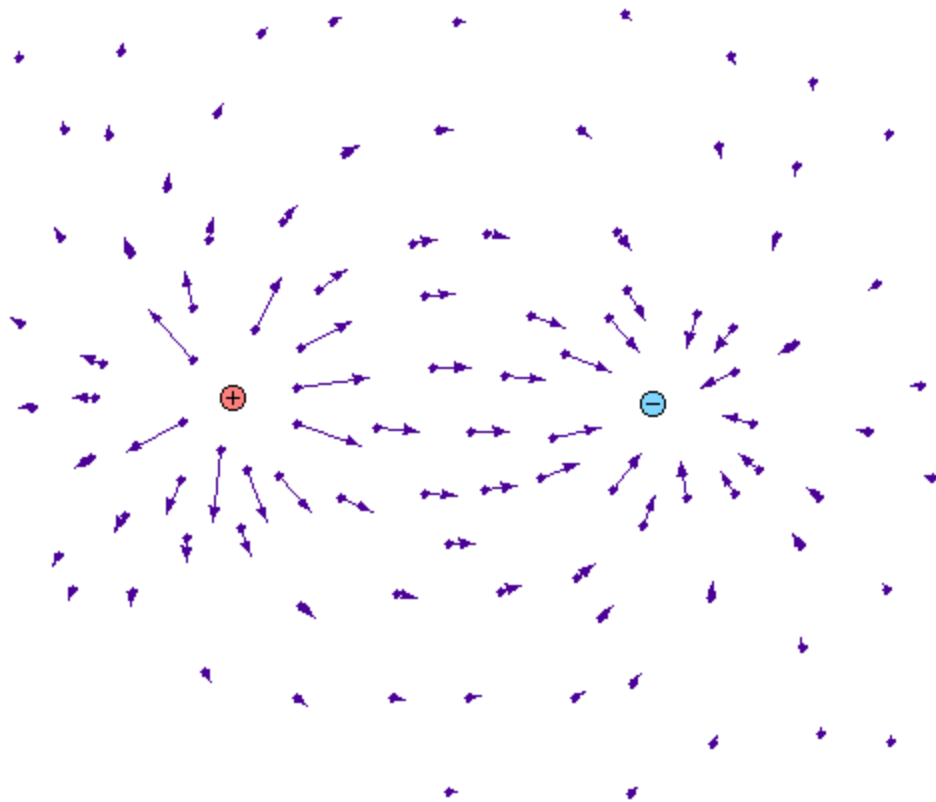
Líneas de campo creadas por una carga positiva y otra negativa de igual intensidad.



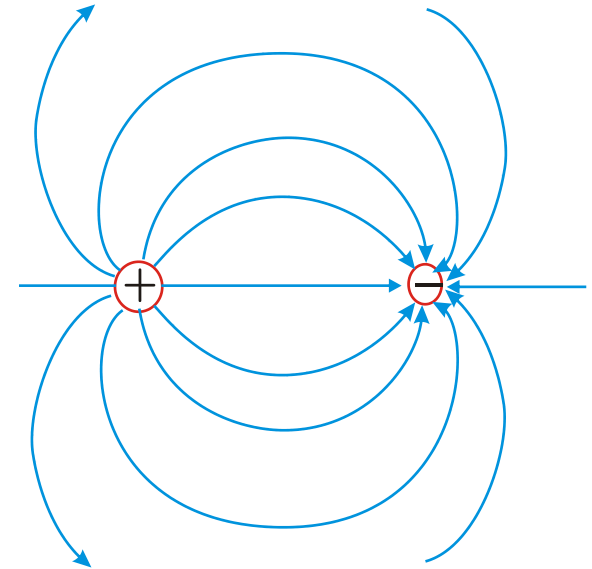
Carga negativa = sumidero

### 3. Campo Eléctrico: Líneas de campo

La razón de usar líneas de campo para representar el campo eléctrico está en la dificultad que tiene su visualización. En el dibujo muestra el valor del campo eléctrico creado por dos cargas de igual intensidad y signo opuesto en distintos puntos del espacio. Como se ve es mucho más sencillo visualizar el campo eléctrico mediante líneas de campo.



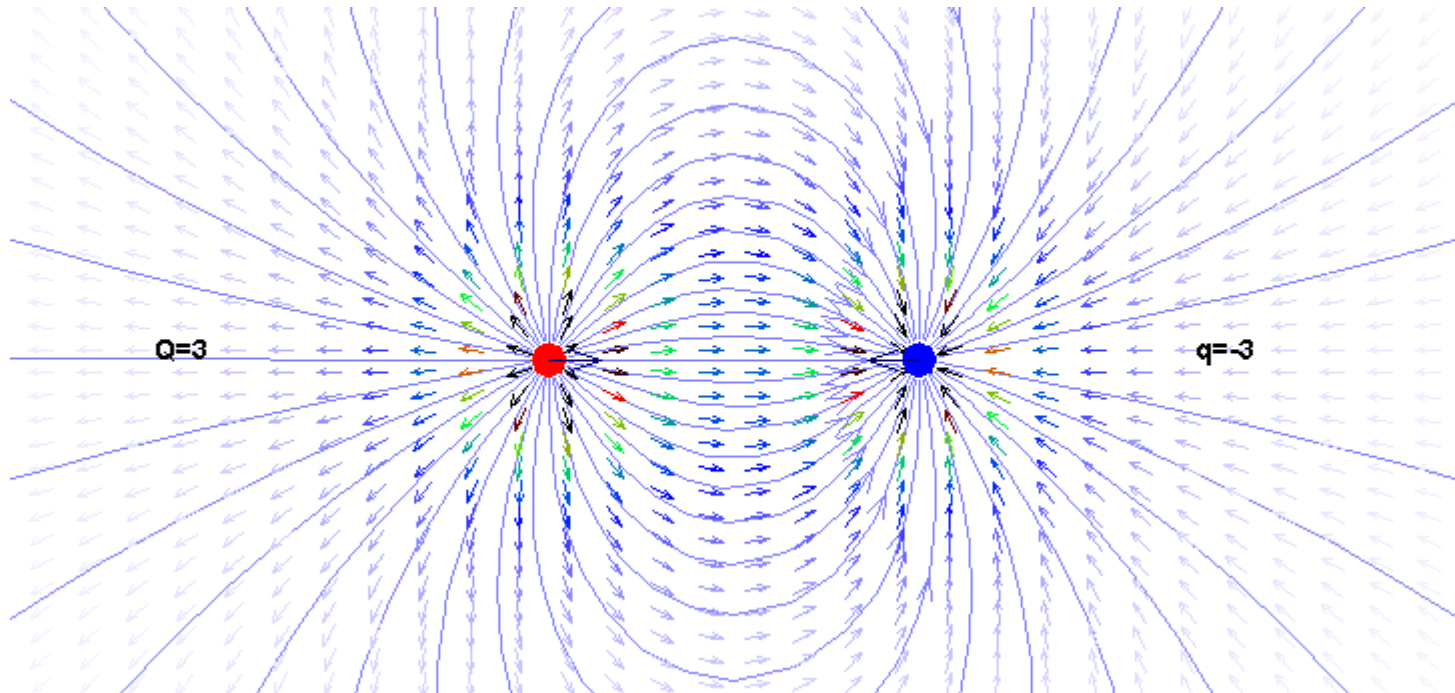
Campo eléctrico en algunos puntos del espacio.



El mismo campo eléctrico representado mediante líneas de campo.

### 3. Campo Eléctrico: Líneas de campo

Como muestra el gráfico, las líneas de campo eléctrico son siempre tangentes al campo eléctrico en cualquier punto del espacio (el campo eléctrico tiene la dirección y sentido de las flechas).

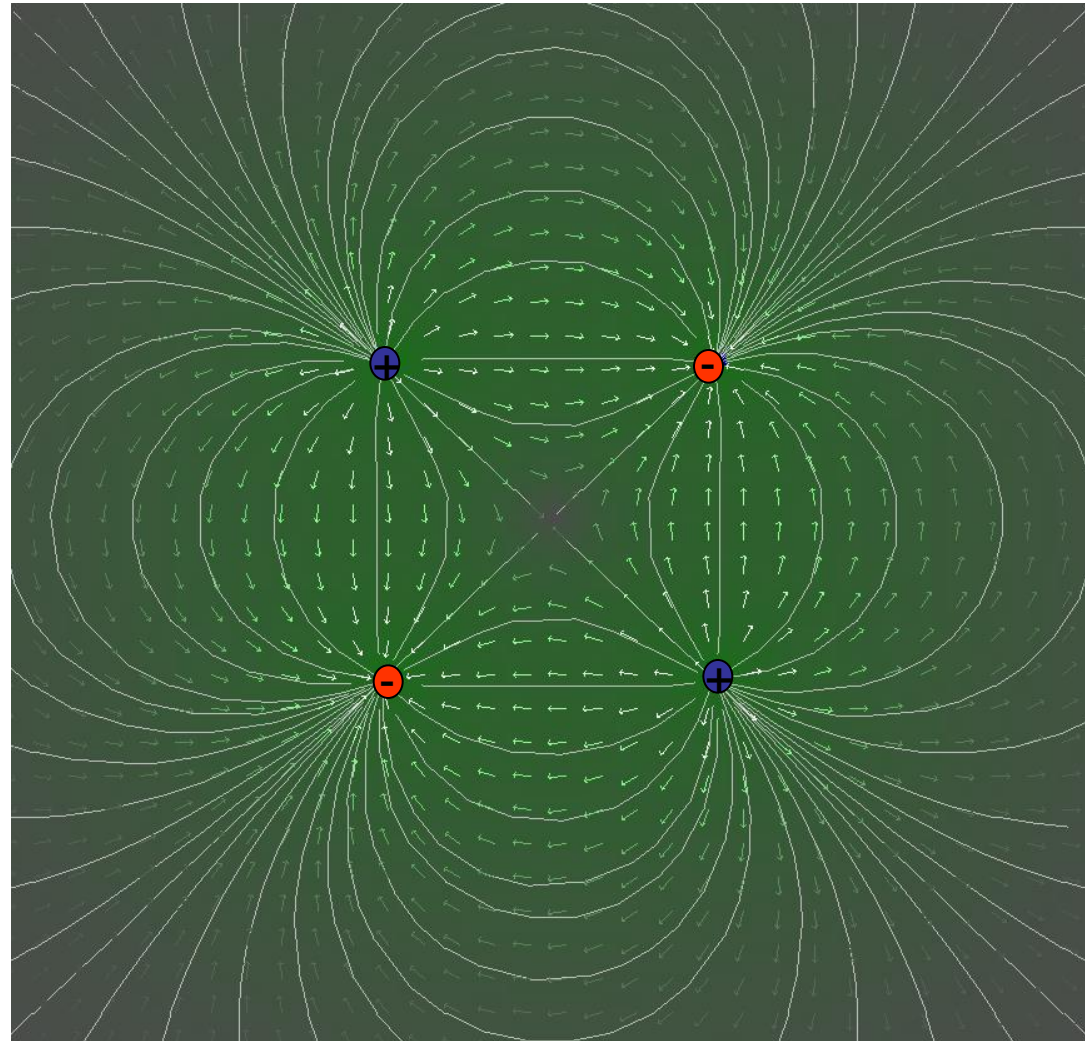


### 3. Campo Eléctrico: Líneas de campo

El campo eléctrico creado por configuraciones de carga más complejas se visualiza fácilmente mediante las líneas de campo.

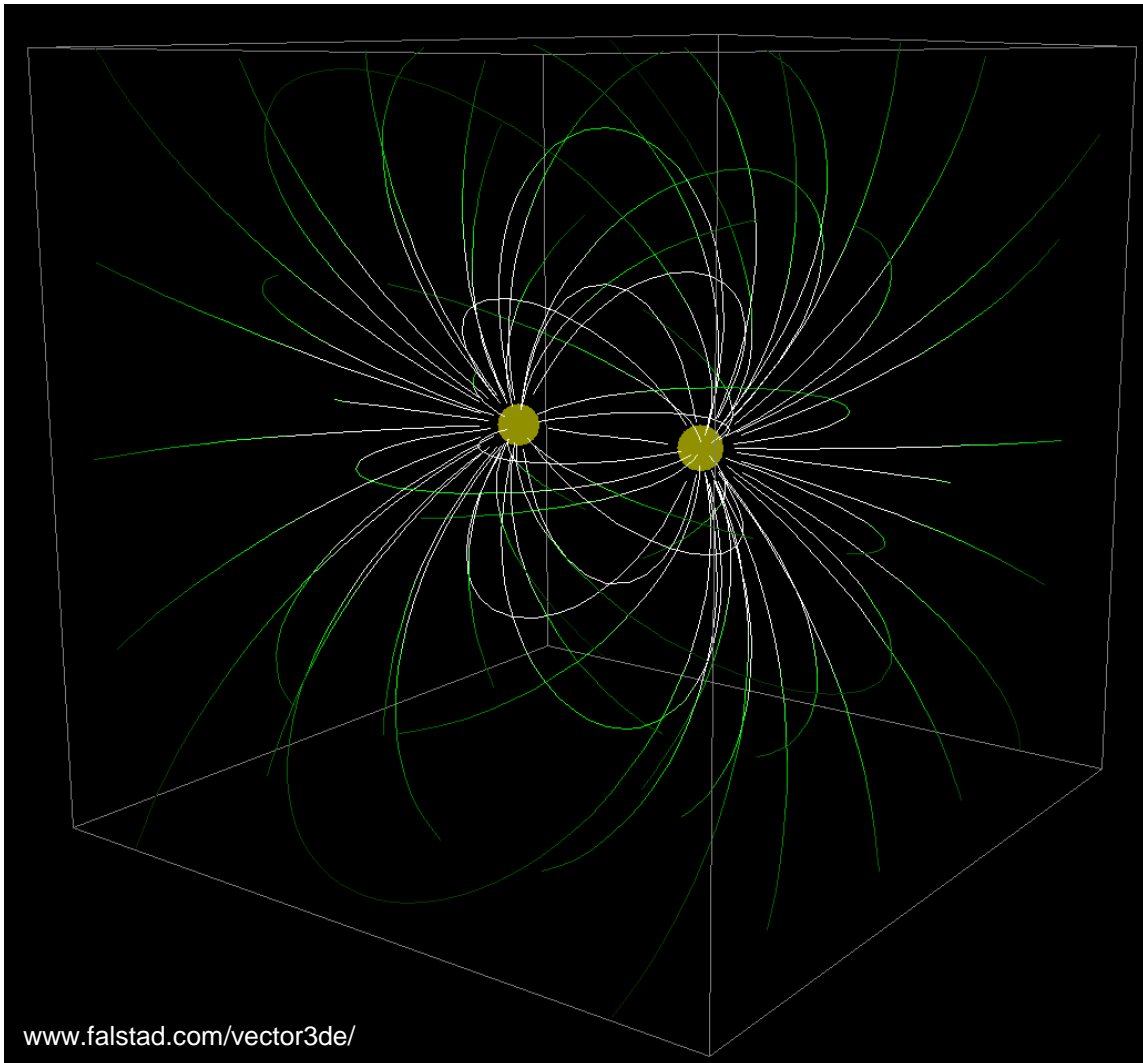
Esta configuración se llama cuádruplo y está formada por dos cargas positivas y dos negativas de igual intensidad.

El campo eléctrico tiene la dirección y sentido de las flechas



Ir a la Web [www.falstad.com/mathphysics.html](http://www.falstad.com/mathphysics.html) para visualizar las líneas de campo.

### 3. Campo Eléctrico: Líneas de campo



Visualizar el campo eléctrico en tres dimensiones representa una mayor dificultad. El método de representar  $\mathbf{E}$  mediante líneas de campo sigue siendo el mismo.

El dibujo muestra las líneas de  $\mathbf{E}$  de dos cargas eléctricas de igual intensidad y signo opuesto.

