

Tema 1-2. Ley de Coulomb

- Propiedades de la carga eléctrica
- Ley de Coulomb
- Distribuciones continuas de carga
- Principio de superposición
- Campo eléctrico
- Líneas de campo eléctrico
- Analogía del campo eléctrico con un fluido

Carga eléctrica (~masa)

Dos tipos de carga eléctrica: positiva y negativa

Unidad de carga: es el culombio [C]

La carga del electrón (negativa) o protón (positiva) es

$$\pm e,$$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

La carga esta cuantizada

$$Q = \pm Ne$$

La carga se conserva

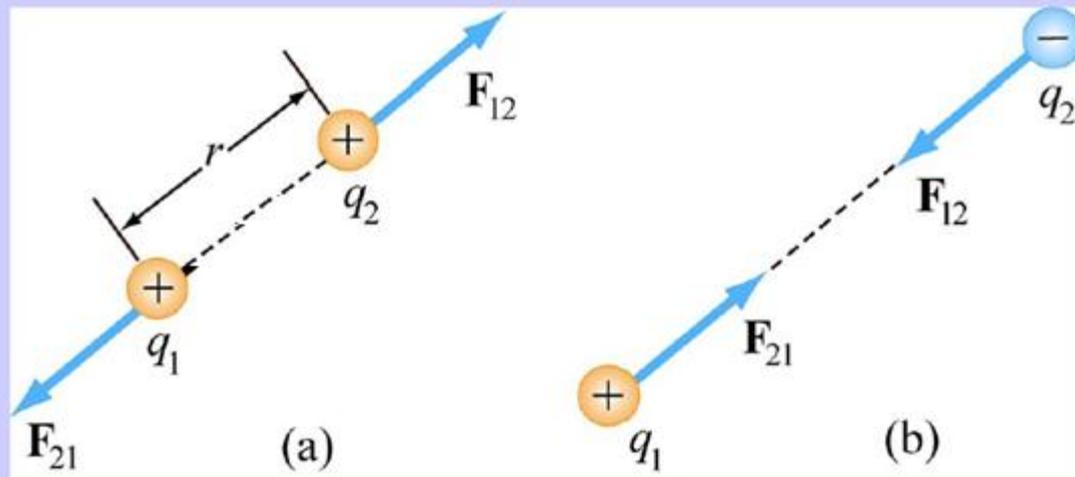
$$n \rightarrow p^+ + e^- + \nu, \quad e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$$

Fuerza eléctrica (~Gravedad)

La fuerza eléctrica entre las cargas q_1 y q_2 es

(a) repulsiva si las cargas tienen el mismo signo

(b) atractiva si las cargas tienen signo opuesto



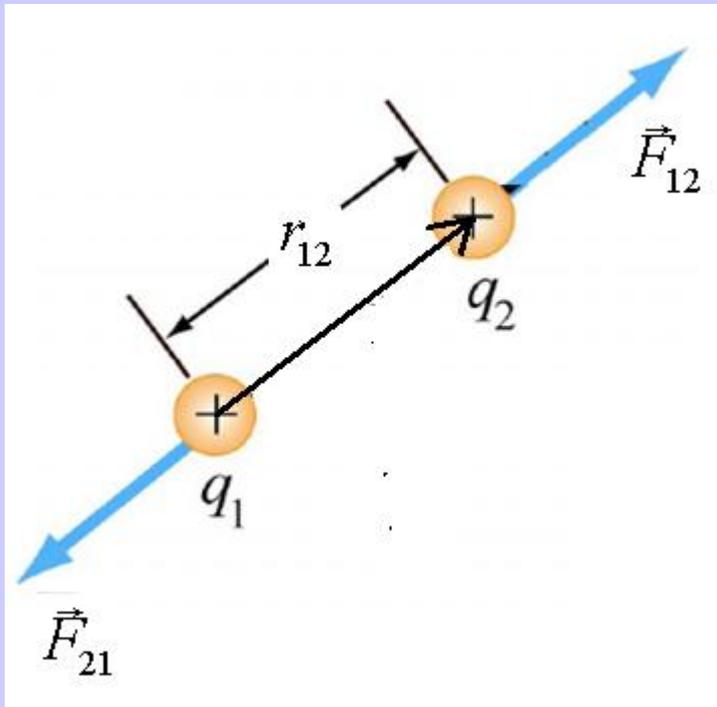
¡¡Cargas iguales se repelen y opuestas se atraen!!

Ley de Coulomb

Ley de Coulomb

Fuerza por q_1 sobre q_2

$$F_{12} = k_e \frac{|q_1 q_2|}{r_{12}^2}$$



Constante de Coulomb
en el vacío:

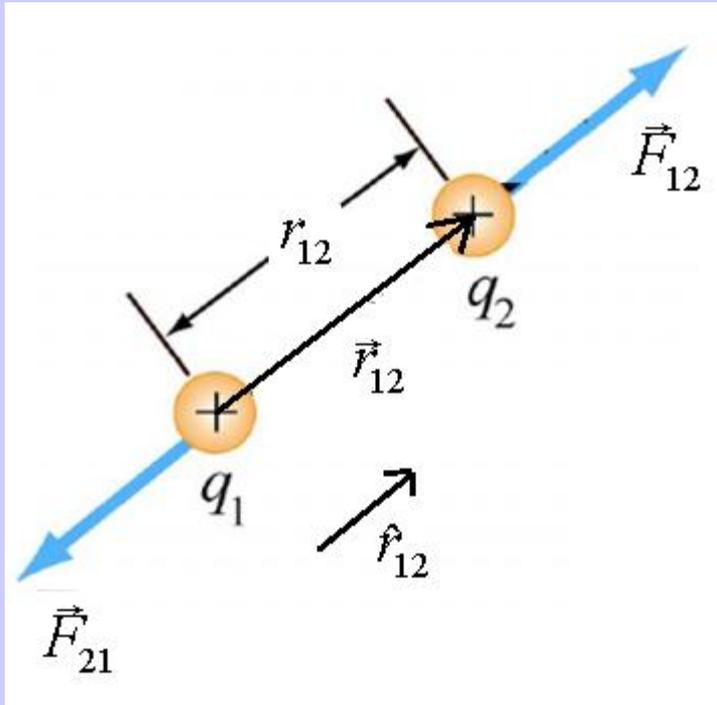
$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$$

ϵ_0 Permitividad dieléctrica del
vacío

Dirección: a lo largo de la línea que une las dos cargas
Repulsiva (++ ó --) o atractiva (+- ó -+)

Ley de Coulomb en forma vectorial

Fuerza por q_1 sobre q_2



$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

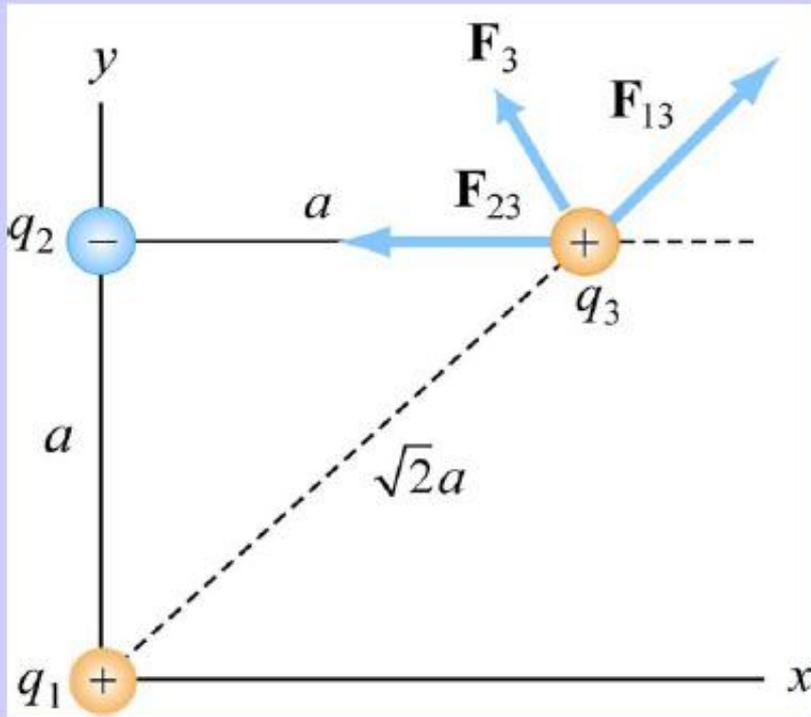
\hat{r}_{12} : vector unitario en la dirección

y sentido de \vec{r}_{12} : $\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}$

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12}$$

Las cargas con su signo dan la dirección y sentido correctos

El principio de superposición



Si hay más de dos cargas:
La fuerza neta en cada carga es el vector suma vectorial de los vectores de las fuerzas que efectúan las cargas por separado

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$$

En general:

$$\vec{F}_j = \vec{F}_{1j} + \vec{F}_{2j} + \dots + \vec{F}_{Nj} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_{ij}$$

El vector campo eléctrico

El campo eléctrico en un punto es la fuerza eléctrica que aparece sobre una carga de prueba situada en ese punto dividida por el valor de la carga q

Para una carga de prueba q

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

\vec{E}

Tiene la dirección y sentido de la fuerza sobre una carga positiva

Campo eléctrico creado por una carga puntual Q

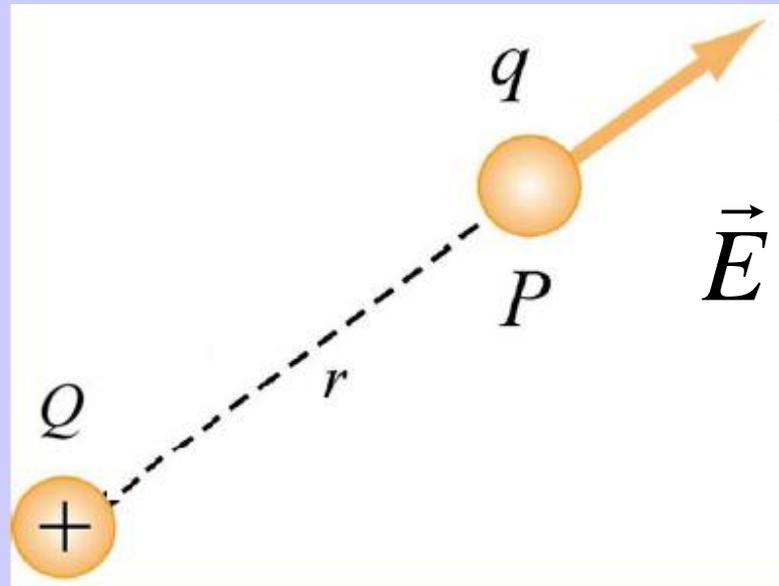
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{1}{q} \frac{k_e Q q}{r^2} \hat{r} \Rightarrow$$

$$\vec{E} = \frac{k_e Q}{r^2} \hat{r}$$

\vec{E} se aleja de una carga positiva y apunta hacia una carga negativa

Módulo:

$$E = \frac{k_e |Q|}{r^2}$$



El principio de superposición de campos

El campo eléctrico debido a un conjunto de N cargas puntuales es el vector suma de los campos eléctricos individuales debidos a cada carga:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i$$

Ejemplo de vector campo: gravedad

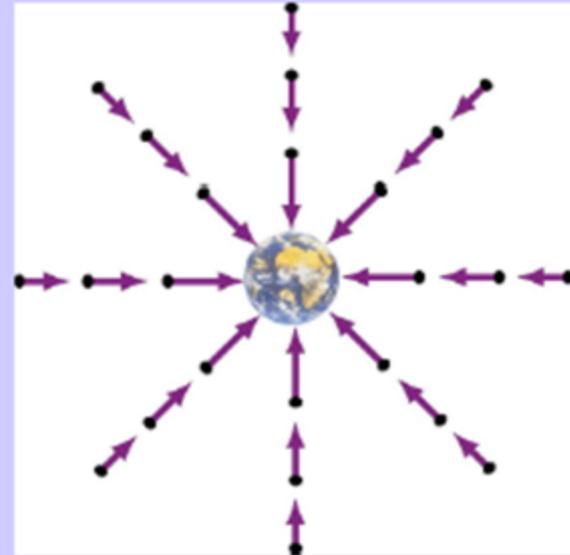
Fuerza gravitacional

$$\vec{\mathbf{F}}_g = -G \frac{Mm}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

Campo gravitacional

$$\mathbf{g} = \frac{\vec{\mathbf{F}}_g}{m} = -\frac{GMm/r^2}{m} \hat{\mathbf{r}} = -G \frac{M}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

M : Masa de la tierra



Comparación con la gravedad

Masas M, m ; Cargas $Q, q (+-)$

M, Q crean:

$$\vec{g} = -G \frac{M}{r^2} \hat{r} \quad ; \quad \vec{E} = k_e \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

m, q sienten:

$$\vec{F}_g = m\vec{g} \quad ; \quad \vec{F}_e = q\vec{E}$$

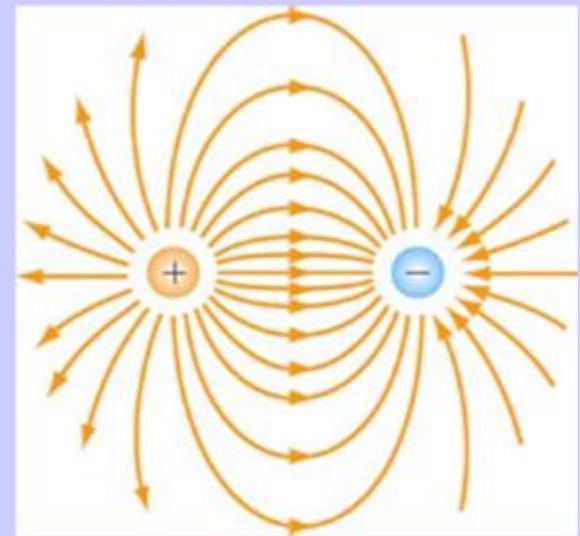
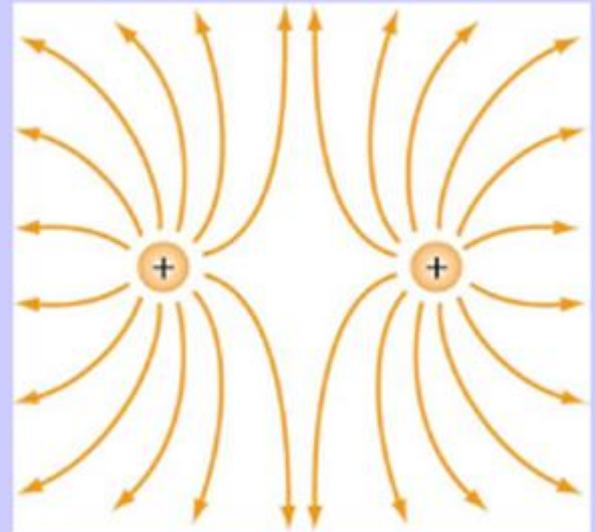
La forma mas sencilla de imaginar el campo

Líneas de campo eléctrico

Definición: la dirección de una línea de campo en cualquier punto es tangente al campo en ese punto

Propiedades:

- 1.- Las líneas de campo salen de las cargas positivas y terminan en las cargas negativas
- 2.- Las líneas de campo nunca se cruzan.
- 3.- Dibujamos un número aproximadamente proporcional al módulo de E



Ejemplo intuitivo de campo vectorial

Campo de velocidades de un fluido incompresible en régimen estacionario y campo electrostático:

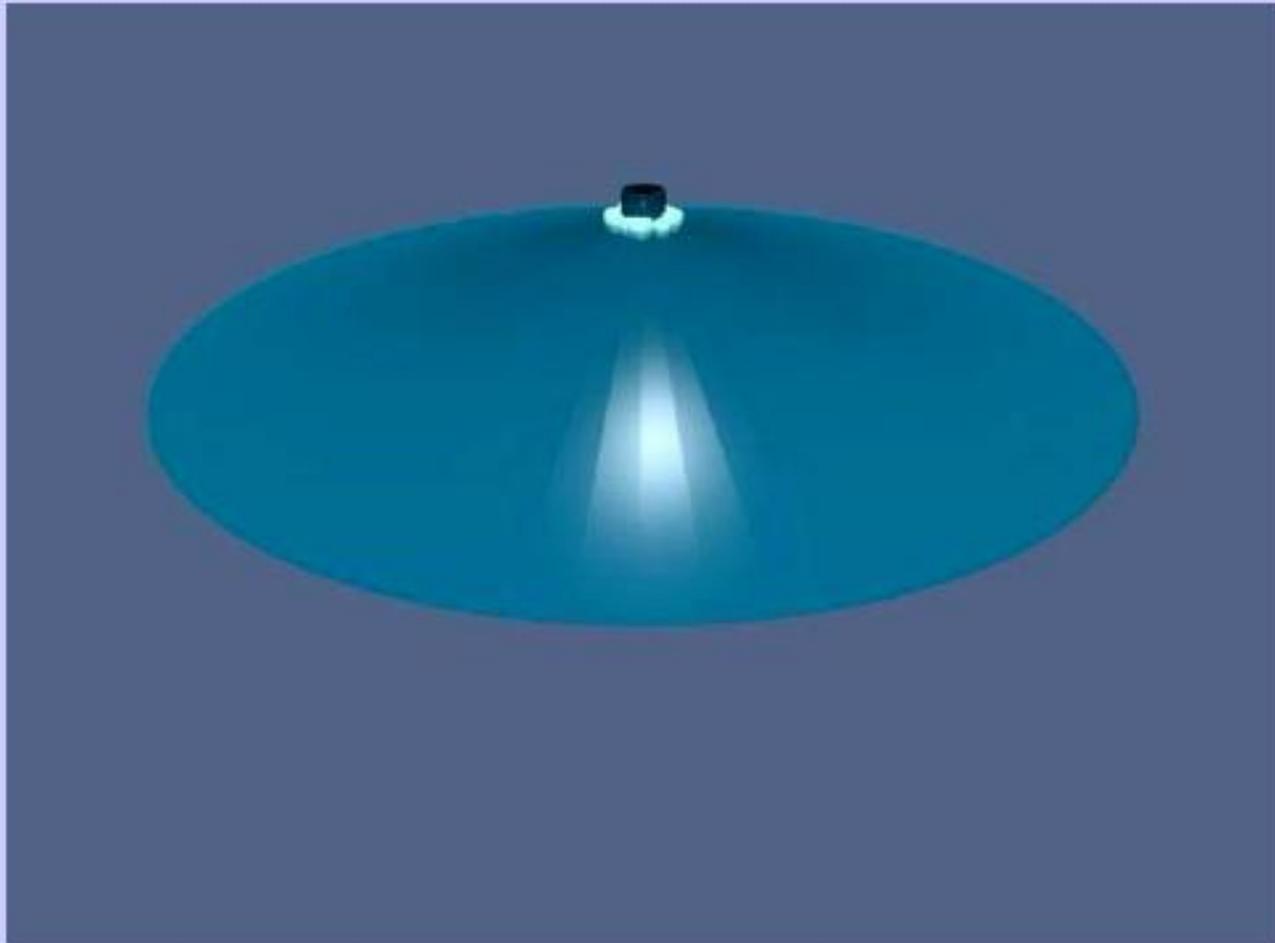
- Velocidad \vec{v} equivalente a \vec{E}
- Trayectorias equivalentes a líneas de campo
- Más adelante: Caudal: m^3/s a través de una superficie S equivalente a flujo electrostático Φ

$$C = \int_S \vec{v} \cdot d\vec{A} \quad ; \quad \Phi_E = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

Visualización de campo vectorial

Flujo de fluido con fuentes

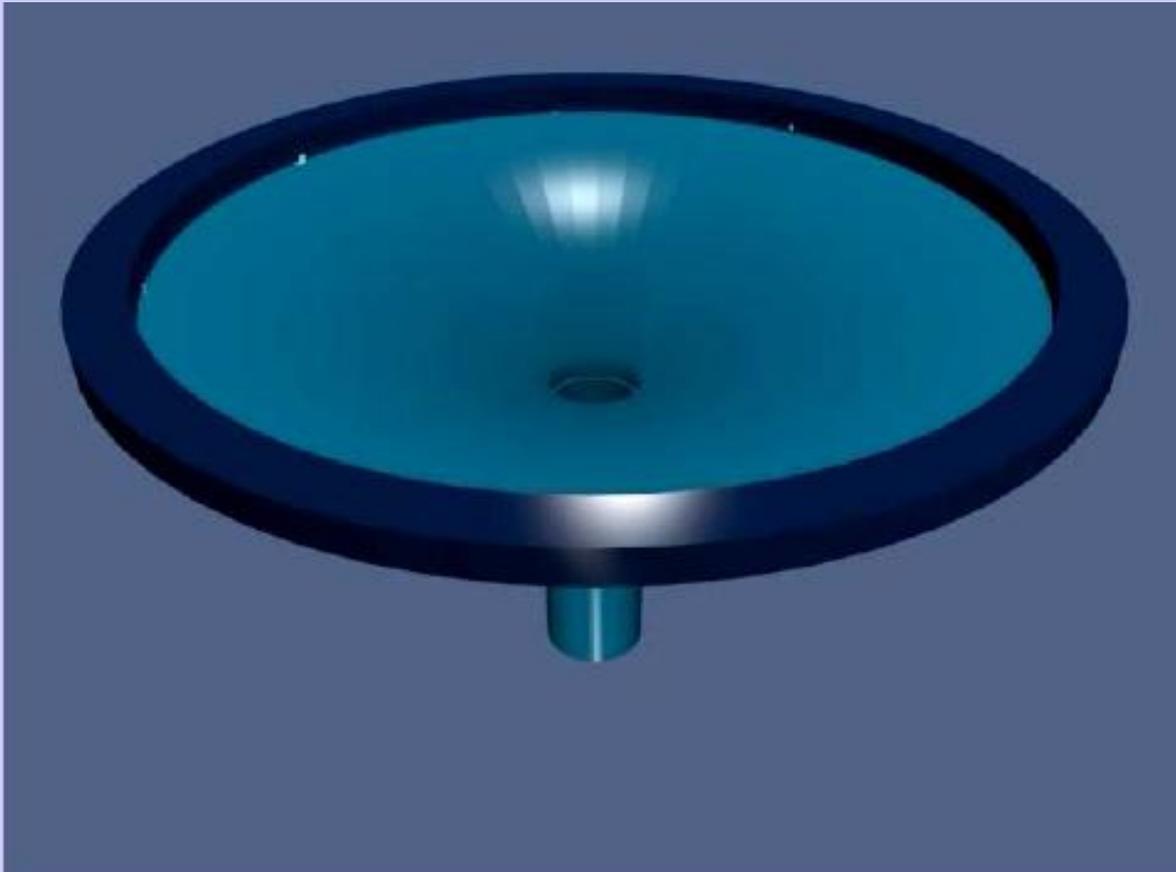
(http://ocw.mit.edu/ans7870/8/8.02T/f04/visualizations/vectorcampos/02-particleSource/02-ParticleSource_320.html)



Visualización de campo vectorial

Flujo de fluido con sumideros

(http://ocw.mit.edu/ans7870/8/8.02T/f04/visualizations/vectorcampos/01-particleSink/01-ParticleSink_320.html)



Visualización de campo vectorial

Flujo de fluido con circulación

(http://ocw.mit.edu/ans7870/8/8.02T/f04/visualizations/vectorcampos/03-particleCirculate/03-PartCircMotion_320.html)

