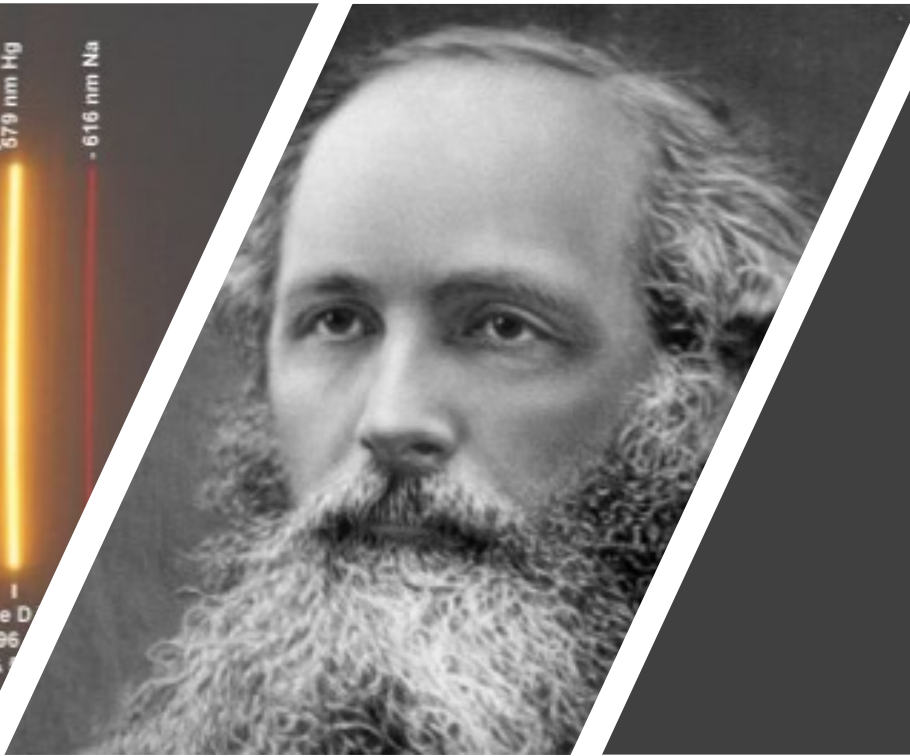
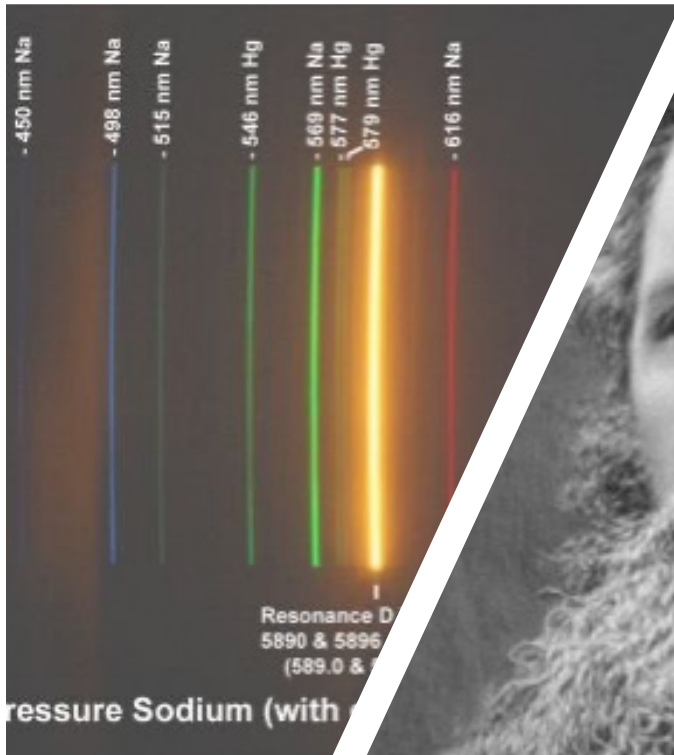
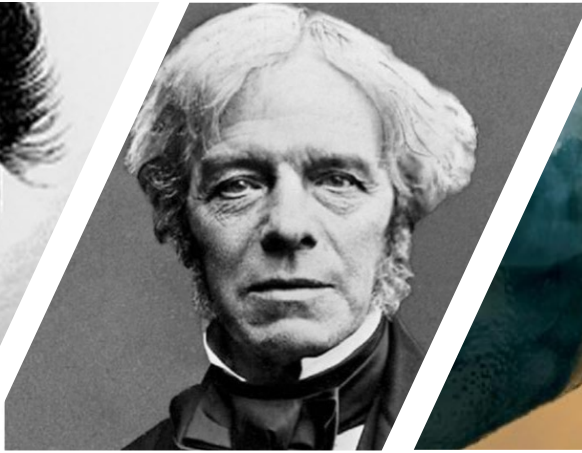
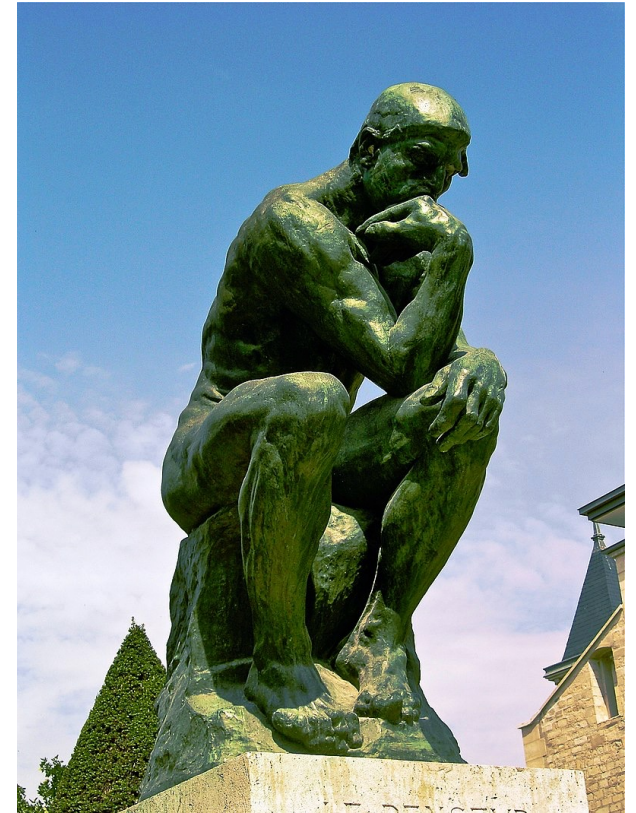
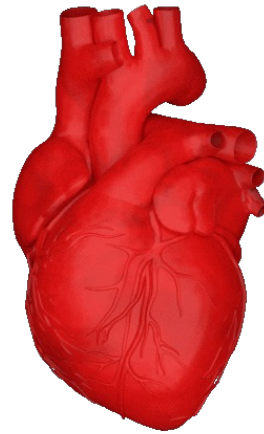
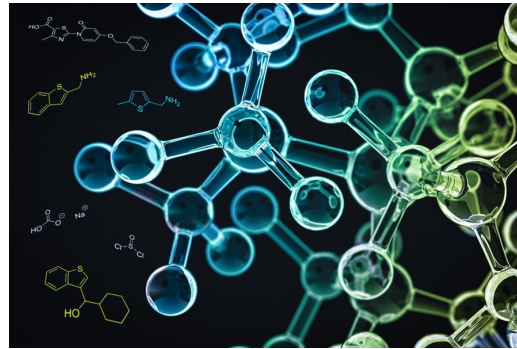




1er Cuatri 2025

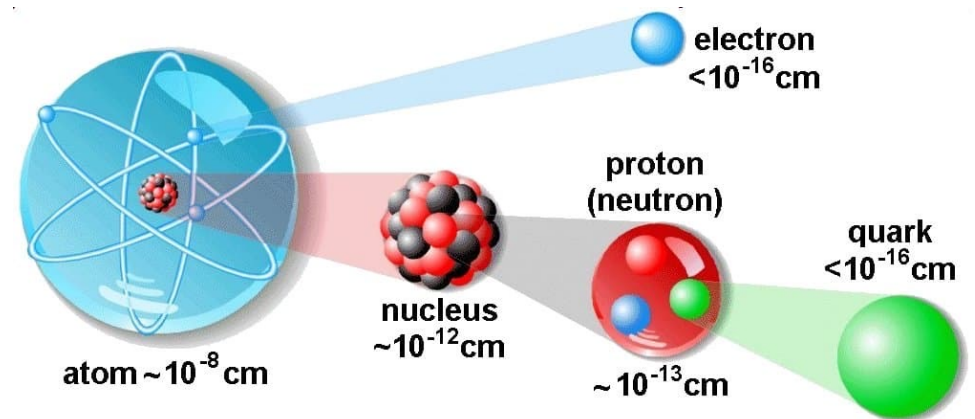
Física 2

La electricidad y el magnetismo nos rodea

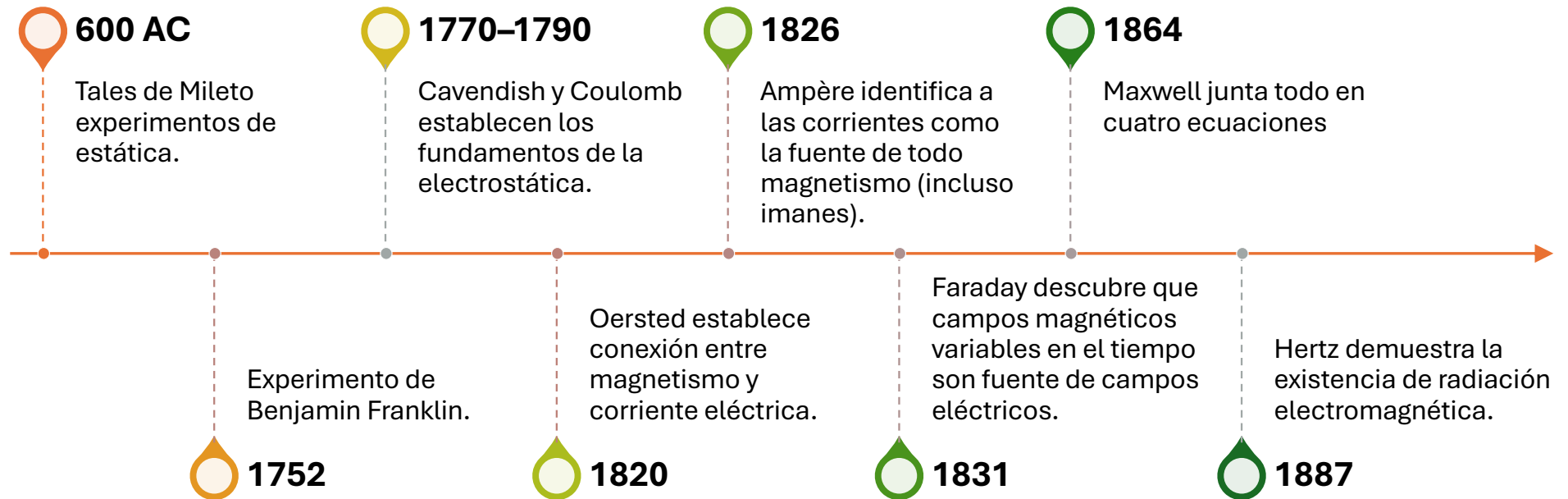


El átomo

- Núcleo muy pequeño (10^{-12} cm)
 - Protones cargado positivamente
 - Neutrones
 - Masa de cada uno: $1.7 \cdot 10^{-27}$ kg
- Nube de electrones negativos 10^{-8} cm. Masa: $9.1 \cdot 10^{-31}$ kg
- La carga es la misma para electrones y protones: $1.6 \cdot 10^{-19}$ C.
- Átomo neutro: igual numero de iones y electrones.



Hitos en la historia del Electromagnetismo



Primeras nociones de electricidad: la estática



Efecto triboeléctrico

- 600 BC: Tales de Mileto descubre el efecto 'Triboeléctrico' frotando ámbar ('elektron' en griego) el cual atrae hojas.
- Se basa en la transferencia de electrones entre dos sustancias distintas por frotamiento.
- Algunas sustancias tienen mayor tendencia a ceder electrones mientras otras tienen tendencia a tomarlos.
- Sustancias del mismo tipo se repelen, sustancias de distinto tipo se atraen
- Son experimentos básicos para la noción de carga

Serie Triboeléctrica

+ Mayor carga positiva

Aire
Piel humana
Cuero
Piel de conejo
Vidrio
Cuarzo
Mica
Pelo humano
Nylon
Lana
Plomo
Piel de gato
Seda
Aluminio
Papel (pequeña carga positiva)
Algodón (sin carga)
0
Acero (sin carga)
Madera (pequeña carga negativa)
Polimetilmetacrilato
Ámbar
Lacre
Acrílico
Poliestireno
Globo de goma
Resinas
Goma dura
Níquel, Cobre
Azufre
Bronce, Plata
Oro, Platino
Acetato, Rayón
Goma sintética
Poliéster
Espuma de poliestireno
Orlón
Papel film para embalar
Poliuretano
Poliétileno (cinta Scotch)
Polipropileno
Vinilo (PVC)
Silicio
Teflón
Goma de Silicona
Ebonita
- Mayor carga negativa

Benjamin Franklin y el fuego eléctrico

- Franklin intenta explicar el efecto triboeléctrico: postula que ‘Toda sustancia esta penetrada por fuego eléctrico o fluido eléctrico’.
- Establece convención de signos. Exceso de fuego=positivo, defecto=negativo. Vidrio positivo.
- Nota dos aspectos importantísimos:
 - Cuanto más ‘fuego’, mayor la fuerza.
 - Cuanto más cerca están los objetos, mayor es la fuerza.



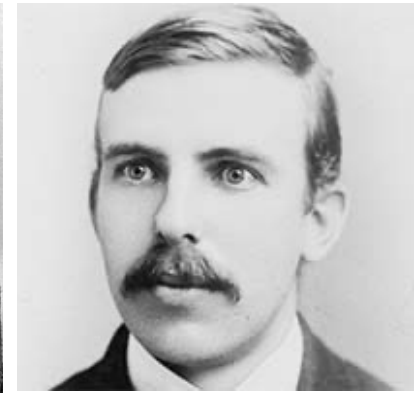
Benjamin Franklin (1706-1790)

Experimentos fundacionales

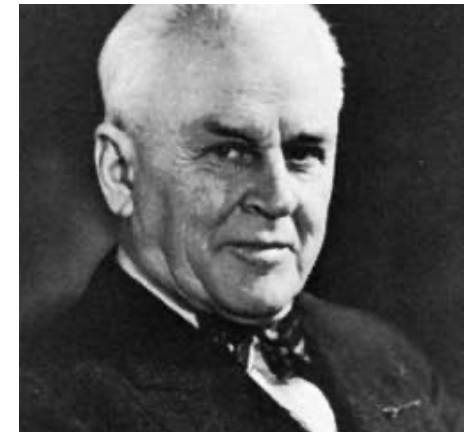
- Descubrimiento de los protones (Goldstein, 1886; Rutherford 1899).
- Descubrimiento del electrón a partir de rayos catódicos (Thomson, 1896)
- Modelo del átomo como núcleo y electrones (Rutherford, 1911)
- Cuantización de la carga (Milikan & Fletcher 1909).



Joseph Thomson



Ernest Rutherford



Robert Milikan

La carga eléctrica

- Característica fundamental de la materia, junto con la masa. Existe en dos versiones: positiva y negativa
- Los portadores de carga son los **protones (positiva)** y los **electrones (negativa)**. Ambos tienen carga
$$|e| = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$
- En átomos y moléculas neutros las cargas positivas y negativas se compensan.
- Un exceso de carga en un cuerpo implica que éste está cargado con una carga Q .

Electrostática

Es la parte del electromagnetismo dedicada al estudio de los fenómenos eléctricos generados por conjuntos de cargas o distribuciones de cargas que no cambian su posición

Leyes fundamentales de la electrostática

- **Ley de cuantización de la carga :**

Toda carga Q es siempre múltiplo entero de la carga elemental e .

- **Ley de conservación de la carga:**

La carga eléctrica neta de un sistema aislado es siempre la misma.

- **Ley de Coulomb:**

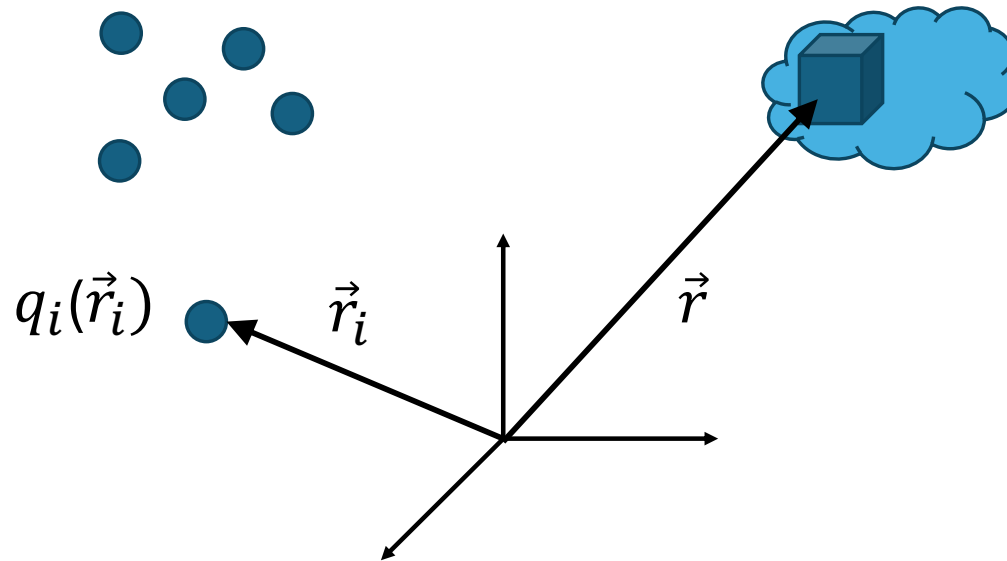
Dos cargas eléctricas en reposo se repelen o atraen entre sí con una fuerza proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

Representaciones de la carga

Puntuales
(discretas)

Distribución continua
de cargas

$$dq(\vec{r}) = \rho(\vec{r}) dV$$



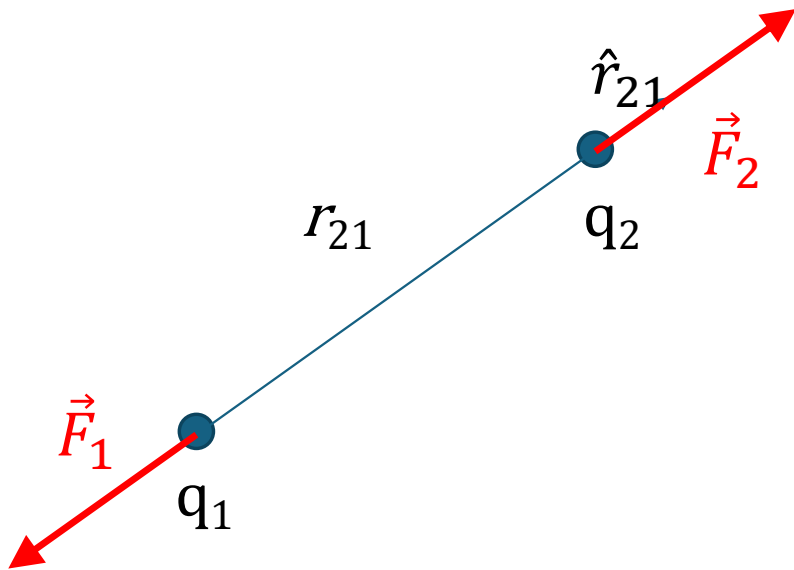
Ley de Coulomb



Charles Augustin de Coulomb
1736-1806

Electrostática

Ley de Coulomb



- La fuerza experimentada por q_2 :

$$\vec{F}_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2 \hat{r}_{21}}{r_{21}^2}$$

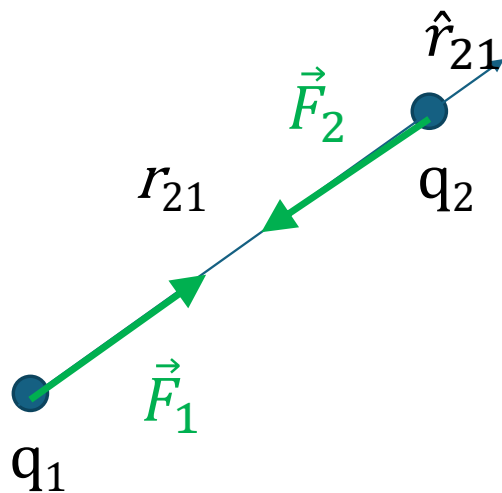
$\hat{r}_{21}$ es el vector unitario de q_1 a q_2

- La fuerza eléctrica es Newtoniana

$$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$$

- **Cargas de igual signo se repelen**

Ley de Coulomb



- La fuerza experimentada por q_2 :

$$\vec{F}_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2 \hat{r}_{21}}{r_{21}^2}$$

$\hat{r}_{21}$ es el vector unitario de q_1 a q_2

- La fuerza eléctrica es Newtoniana

$$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$$

- **Cargas de signo opuesto se**

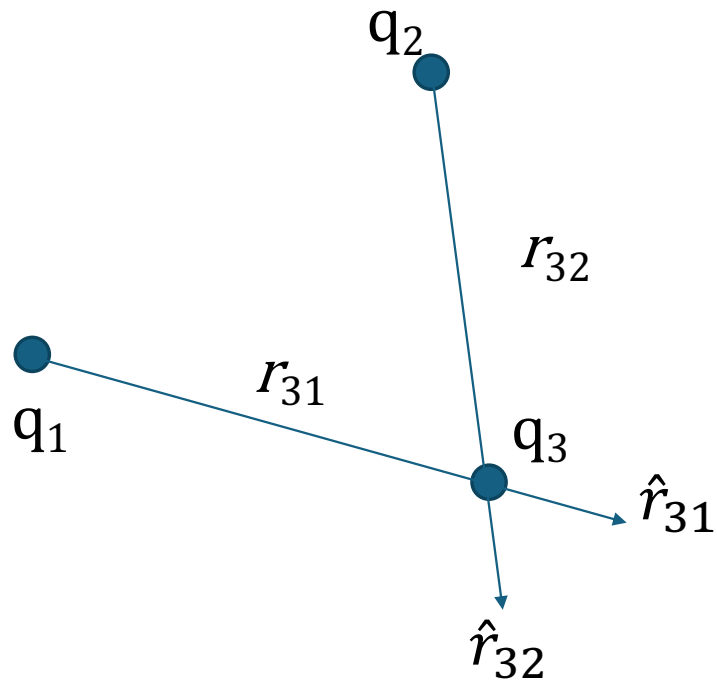
Factor de proporcionalidad

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{Nm}^2\text{C}^{-2}$$

ϵ_0 se define como la permitividad del vacío

Principio de superposición

La fuerza con la que dos cargas interactúan no se modifica por la presencia de una tercera



- COROLARIO:

La fuerza experimentada por q_3 es la suma vectorial de las fuerzas de interacción entre q_1 y q_3 , y q_2 y q_3

$$\vec{F}_3 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q_1 q_3 \hat{r}_{31}}{r_{31}^2} + \frac{q_2 q_3 \hat{r}_{32}}{r_{32}^2} \right]$$

Fuerza del par $q_1 q_3$

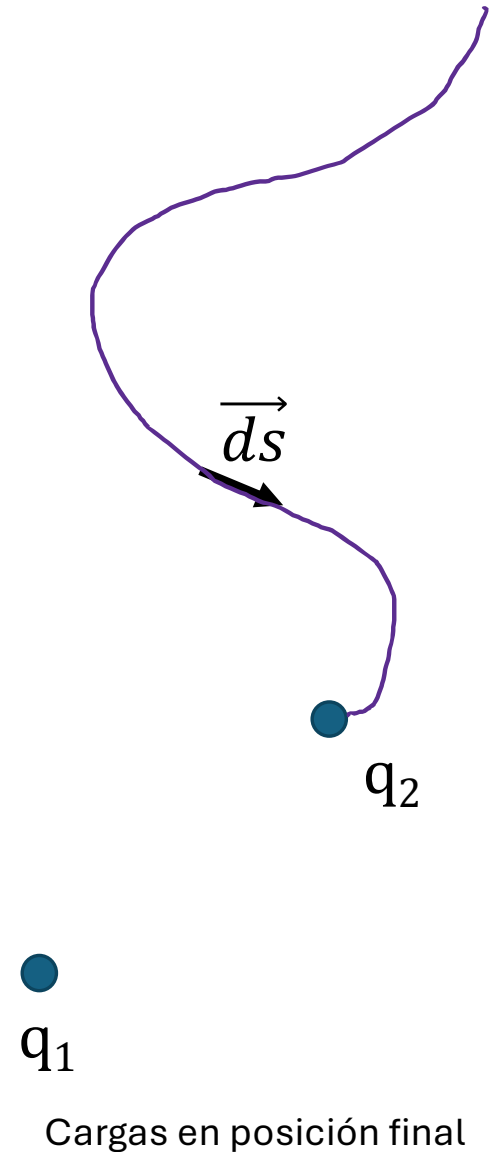
Fuerza del par $q_2 q_3$

Energía potencial electrostática

- **La fuerza de Coulomb es conservativa.** Recordemos que el trabajo de una fuerza se define como
 $W = \text{fuerza} \times \text{desplazamiento en dirección de la fuerza}$
- **El trabajo hecho sobre el sistema de dos cargas q_1 y q_2 al acercarlas desde muy lejos hasta una distancia r_{12} es el mismo que se produce trayendo sólo una de ellas desde muy lejos (supongamos q_2):**

$$W_{21} = \int_{\text{posición inicial}}^{\text{posición final}} \vec{F} \cdot \vec{ds}$$

Diferencial de camino



Energía potencial electrostática

- $\vec{F}$ debe ser la fuerza con la que 'traemos' a q_2 .

$$\vec{F} = -\vec{F}_2$$

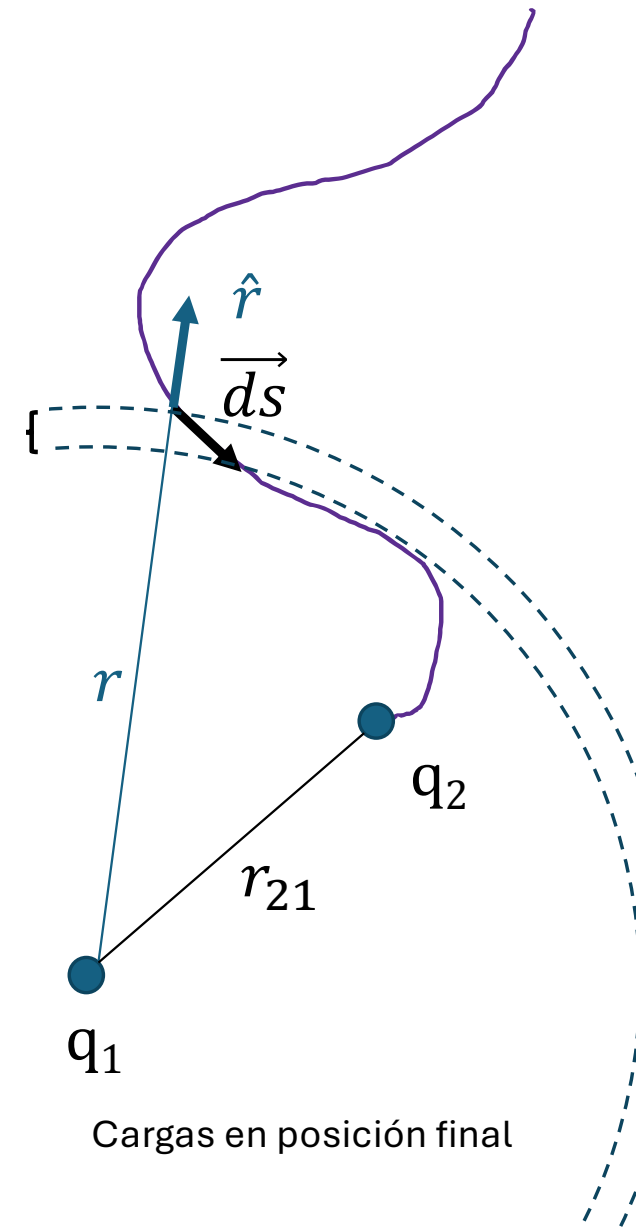
$$W_{21} = - \int_{\text{posición inicial}}^{\text{posición final}} \vec{F}_2 \cdot \vec{ds}$$

- Reescribiendo $\vec{F}_2$ tal que el centro del sistema de coordenadas esféricas coincide con la posición de q_1

$$W_{21} = \int_{\text{posición inicial}}^{\text{posición final}} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2 (-\hat{r})}{r^2} \cdot \vec{ds}$$

- La variación $-\hat{r} \cdot \vec{ds}$ es en la dirección opuesta al diferencial dr entonces:

$$-\hat{r} \cdot \vec{ds} = -dr$$



Energía potencial electrostática

- Así obtenemos:

$$W_{21} = \int_{\text{posición inicial}}^{\text{posición final}} -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2 dr}{r^2}$$

- Reemplazando los extremos e integrando:

$$W_{21} = - \int_{\text{posición inicial}}^{\text{posición final}} \vec{F}_2 \cdot \vec{ds} = \int_{\infty}^{r_{21}} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2 (-dr)}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{21}}$$

$W_{21} > 0$ para signos de cargas iguales,
 $W_{21} < 0$ para signos de cargas opuestos

Energía potencial electrostática

- Entonces, la energía puesta o almacenada en un sistema de dos cargas $q_1 q_2$ fijas a una distancia r_{12} es el trabajo de la fuerza para traer una de ellas desde el infinito:

$$U_{21} = W_{21} = - \int_{\text{posición inicial}}^{\text{posición final}} \vec{F}_2 \cdot \overrightarrow{ds} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{21}}$$

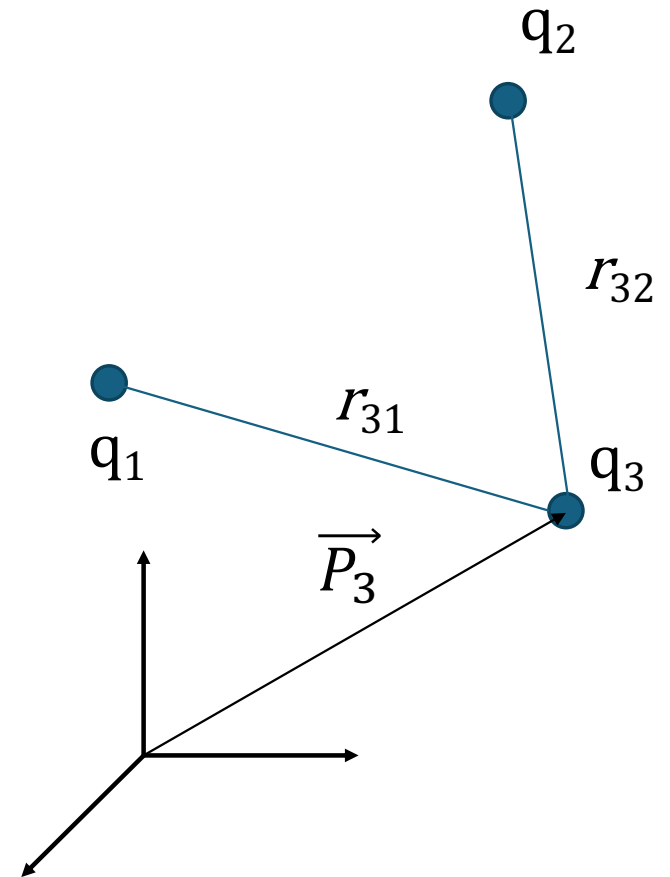
Se trata de la energía potencial almacenada ya que la fuerza de Coulomb es conservativa

Energía de un sistema de cargas

- Calculemos la energía que insume armar un sistema de N cargas puntuales. Acerquemos una tercera carga q_3 desde muy lejos hasta $\vec{P}_3$. El adicional de energía puesta en el sistema será:

$$-\int_{\infty}^{P_3} \vec{F}_3 \cdot d\vec{s} = -\int_{\infty}^{P_3} \vec{F}_{31} \cdot d\vec{s} - \int_{\infty}^{P_3} \vec{F}_{32} \cdot d\vec{s}$$

- Donde $\vec{F}_{31}$ y $\vec{F}_{32}$ son las fuerzas que siente q_3 a causa de q_1 y q_2 respectivamente

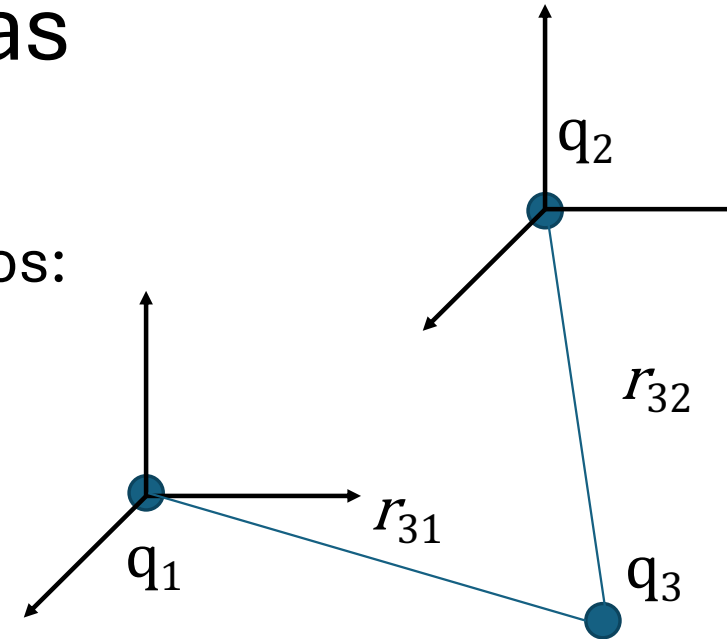


Energía de un sistema de 3 cargas

Parándonos en q_1 y q_2 respectivamente tenemos:

$$-\int_{\infty}^{r_{31}} \vec{F}_{31} \cdot \overrightarrow{ds'} - \int_{\infty}^{r_{32}} \vec{F}_{32} \cdot \overrightarrow{ds''} =$$

$$= -\int_{\infty}^{r_{31}} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_3 \widehat{r'}}{r'^2} \cdot \overrightarrow{ds'} - \int_{\infty}^{r_{32}} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_3 \widehat{r''}}{r''^2} \cdot \overrightarrow{ds''}$$



Energía de un sistema de 3 cargas

- Entonces, el incremento en la energía almacenada es:

$$-\int_{\infty}^{r_{31}} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_3 dr'}{r'^2} - \int_{\infty}^{r_{32}} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_3 dr''}{r''^2} = \underbrace{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_3}{r_{31}}}_{W_{31}} + \underbrace{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_3}{r_{32}}}_{W_{32}}$$

- El trabajo para llevar q_3 a $\vec{P}_3$ es la suma del trabajo cuando solamente está q_1 y cuando solamente está q_2 .
- Entonces el trabajo total cedido al sistema para reunir las tres cargas es igual a la energía electrostática acumulada U

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q_1 q_2}{r_{21}} + \frac{q_1 q_3}{r_{31}} + \frac{q_2 q_3}{r_{32}} \right]$$

La energía potencial electrostática U de un sistema de cargas

- No depende del orden de colocación de las cargas
- Es independiente del camino seguido por cada carga



Dependerá únicamente de la disposición final de las cargas

Energía de un sistema de N cargas

- Generalizando la expresión para 3 cargas tenemos:

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \sum_{k \neq j} \frac{q_j q_k}{r_{jk}}$$

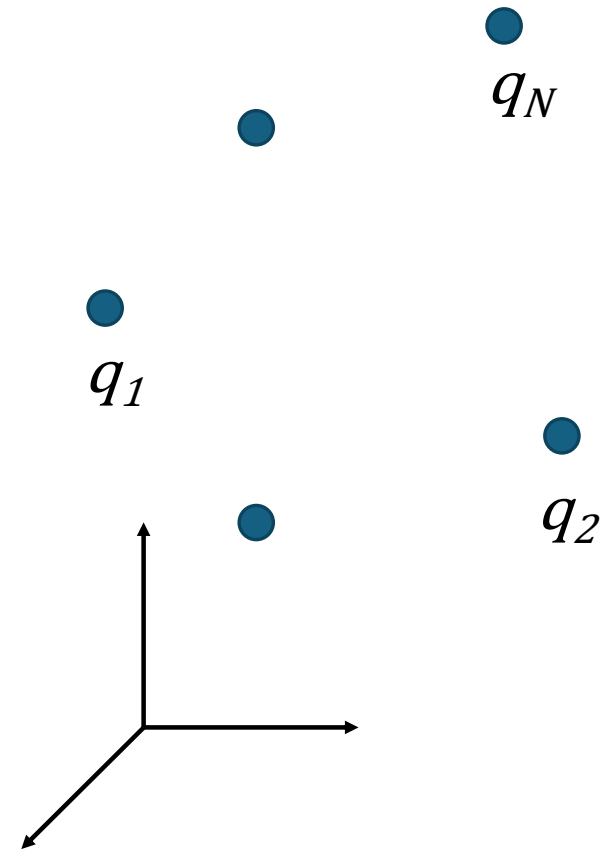
- La doble sumatoria significa:
 - tomar $j=1$ y sumar para $k=2,3,4\dots N$,
 - luego tomar $j=2$ y sumar para $k=1, 3, 4\dots N$ y así sucesivamente hasta $j=N$.
- El $\frac{1}{2}$ aparece porque los términos con cargas j y k aparecen dos veces como jk y kj .

El campo eléctrico

- El electromagnetismo es una teoría de campos
- El campo eléctrico es una entidad vectorial que vehiculiza la fuerza de Coulomb.
- Es una propiedad que adquiere cada punto del espacio como consecuencia de la presencia de cargas.
- Al colocar una carga nueva en un lugar con campo eléctrico no nulo, dicha carga experimentará una fuerza de Coulomb proporcional al campo presente en ese lugar y a su propia carga.

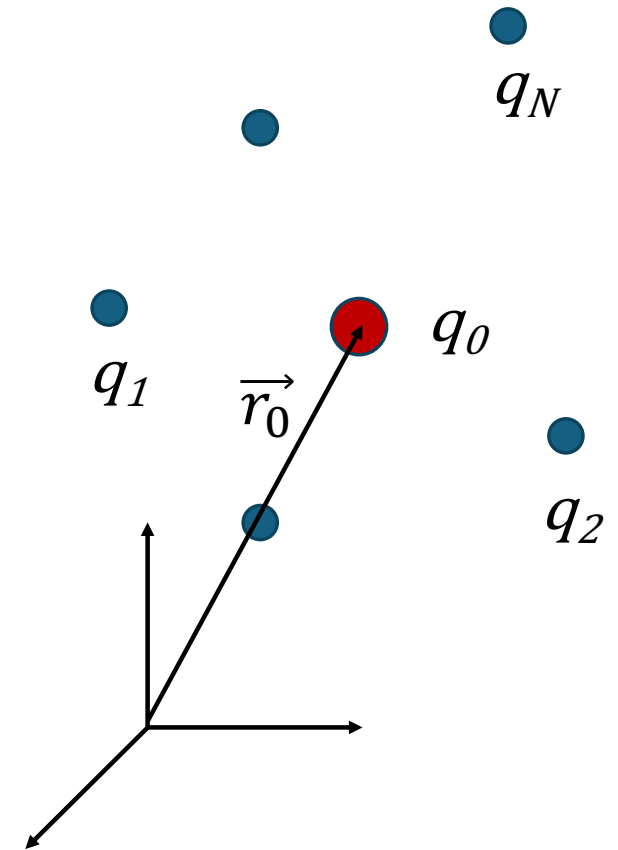
El campo eléctrico

- Supongamos una distribución de cargas $q_1, q_2, \dots, q_N$ fijas.



El campo eléctrico

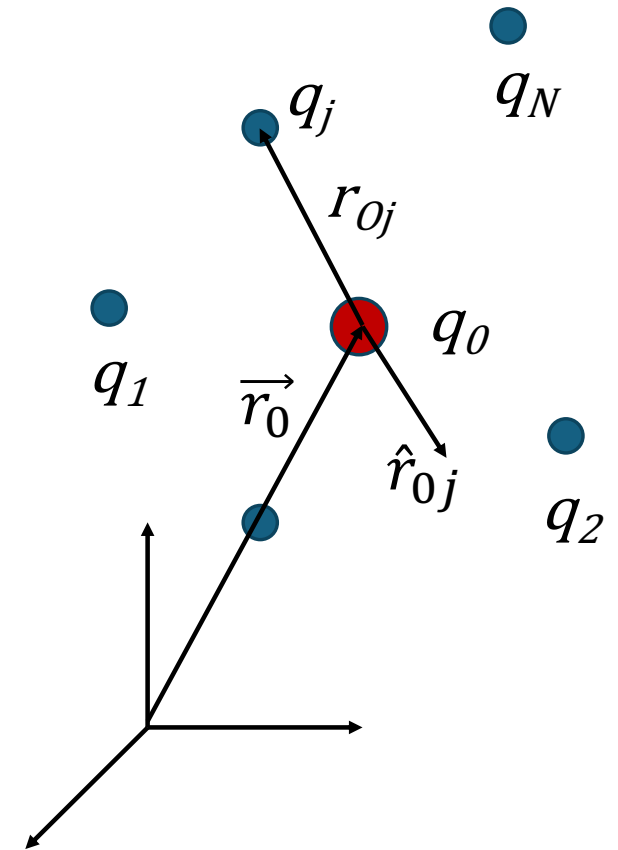
- Supongamos una distribución de cargas $q_1, q_2, \dots, q_N$ fijas.
- Nos interesa saber la fuerza resultante sobre una carga q_0 que se agrega en la posición $\vec{r}_0$



El campo eléctrico

- Supongamos una distribución de cargas $q_1, q_2, \dots, q_N$ fijas.
- Nos interesa saber la fuerza resultante sobre una carga q_0 que se agrega en la posición $\vec{r}_0$

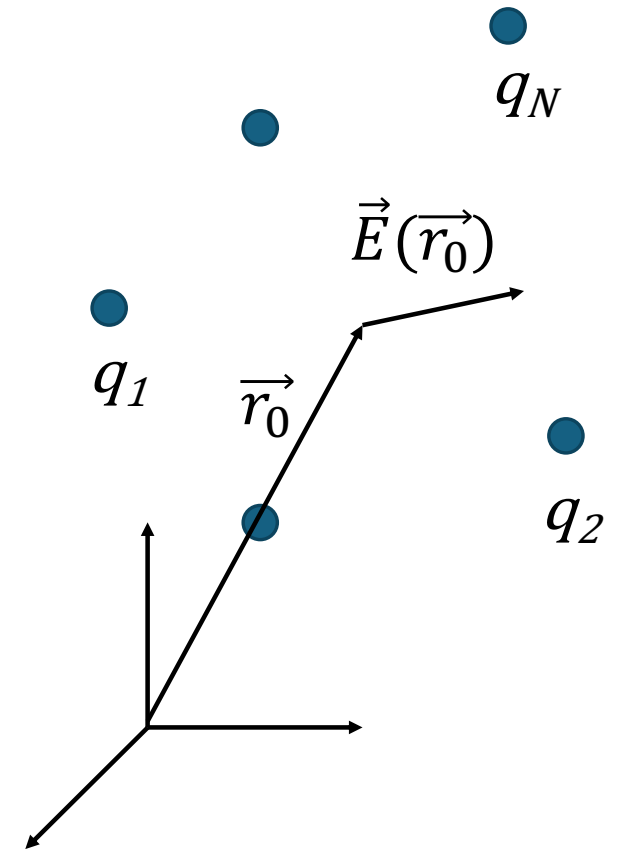
$$\vec{F}_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{j=1}^N \frac{q_0 q_j \hat{r}_{0j}}{r_{0j}^2}$$



El campo eléctrico

- Si dividimos $\vec{F}_0$ por q_0 nos queda una cantidad vectorial dependiente del sistema de cargas y de la posición $\vec{r}_0$.
- Esta cantidad es el campo eléctrico $\vec{E}$ generado por el sistema de cargas en el punto $\vec{r}_0$:

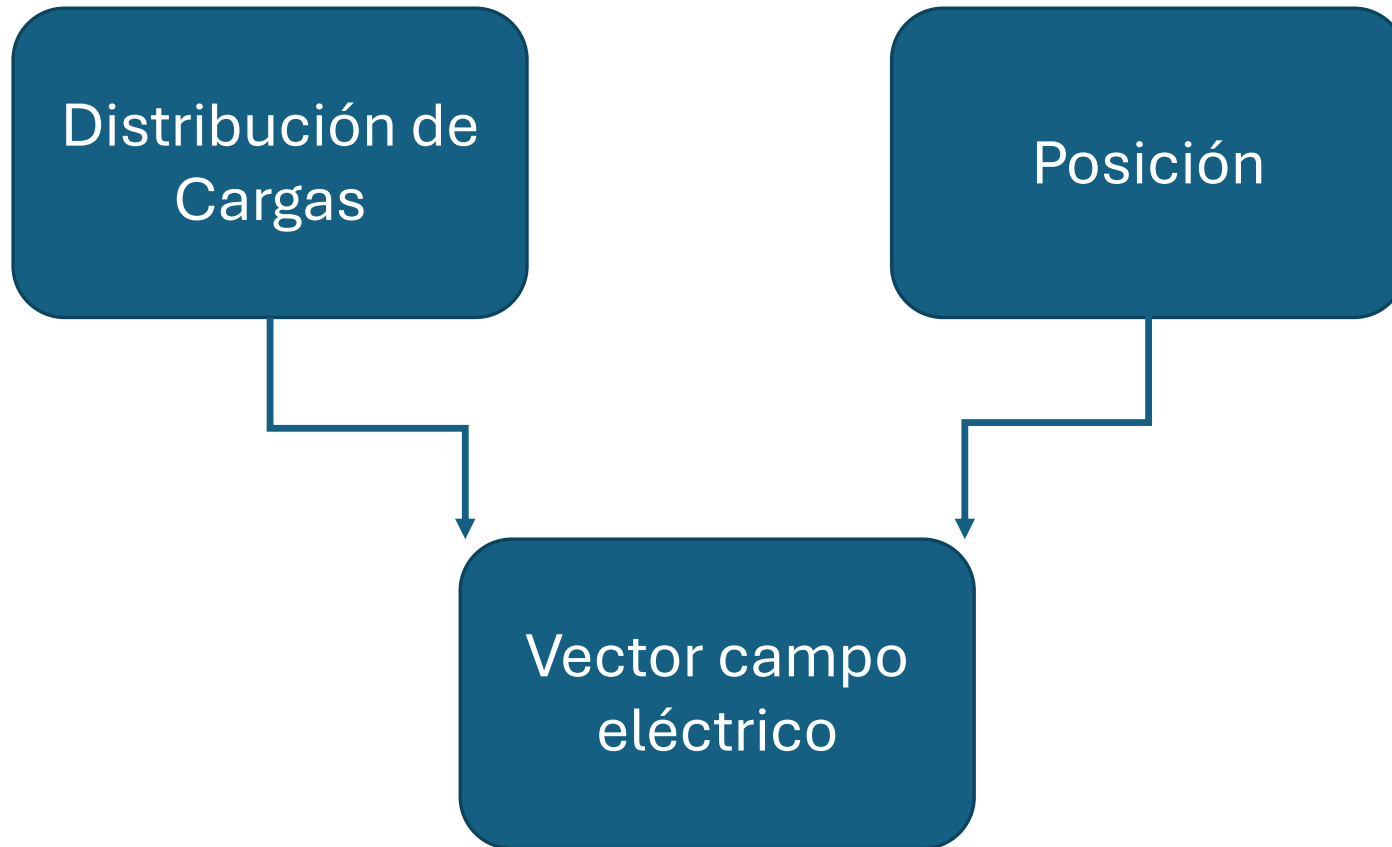
$$\vec{E}(\vec{r}_0) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{j=1}^N \frac{q_j \hat{r}_{0j}}{r_{0j}^2}$$



Distribución de
Cargas

Posición

Vector campo
eléctrico



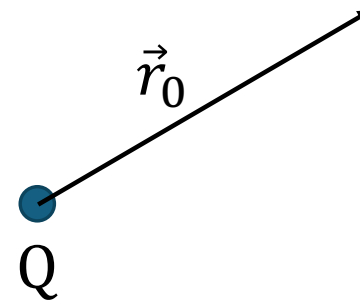
Propiedades del campo electrico

- Su intensidad se mide en N/C ó como veremos más adelante en Volt /m
- La dirección vendrá dada por una combinación de versores.
- Si queremos representar el campo en todo el espacio, a cada posición le asignaremos una flecha (vector).

Campo de una carga puntual

- El campo generado por una carga Q situada en el origen y evaluado en cualquier posición $\vec{r}_0$ es:

$$\vec{E}(\vec{r}_0) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r_0^2} \hat{r}_0$$



Campo de una carga puntual

- El campo generado por una carga Q situada en el origen y evaluado en cualquier posición $\vec{r}_0$ es:

$$\vec{E}(\vec{r}_0) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r_0^2} \hat{r}_0$$

