



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

Electricidad y Magnetismo

Unidad 1: Introducción y Campo Eléctrico

Carga eléctrica y Ley de Coulomb

Profesor Guillermo Palma

DEPARTAMENTO DE FÍSICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE



Electricidad y Magnetismo

Es el área de la Física que estudia los fenómenos de la naturaleza asociados a partículas que poseen carga eléctrica, las cuales están en reposo o forman corrientes cuando están en movimiento. Un ejemplo sorprendente:



El rayo es una poderosa descarga eléctrica natural, acompañada por la emisión de luz (el relámpago), causada por el paso de una corriente eléctrica que ioniza las moléculas del aire. Esta corriente que pasa a través de la atmósfera calienta y expande rápidamente el aire, produciendo el ruido característico del rayo: el trueno.



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

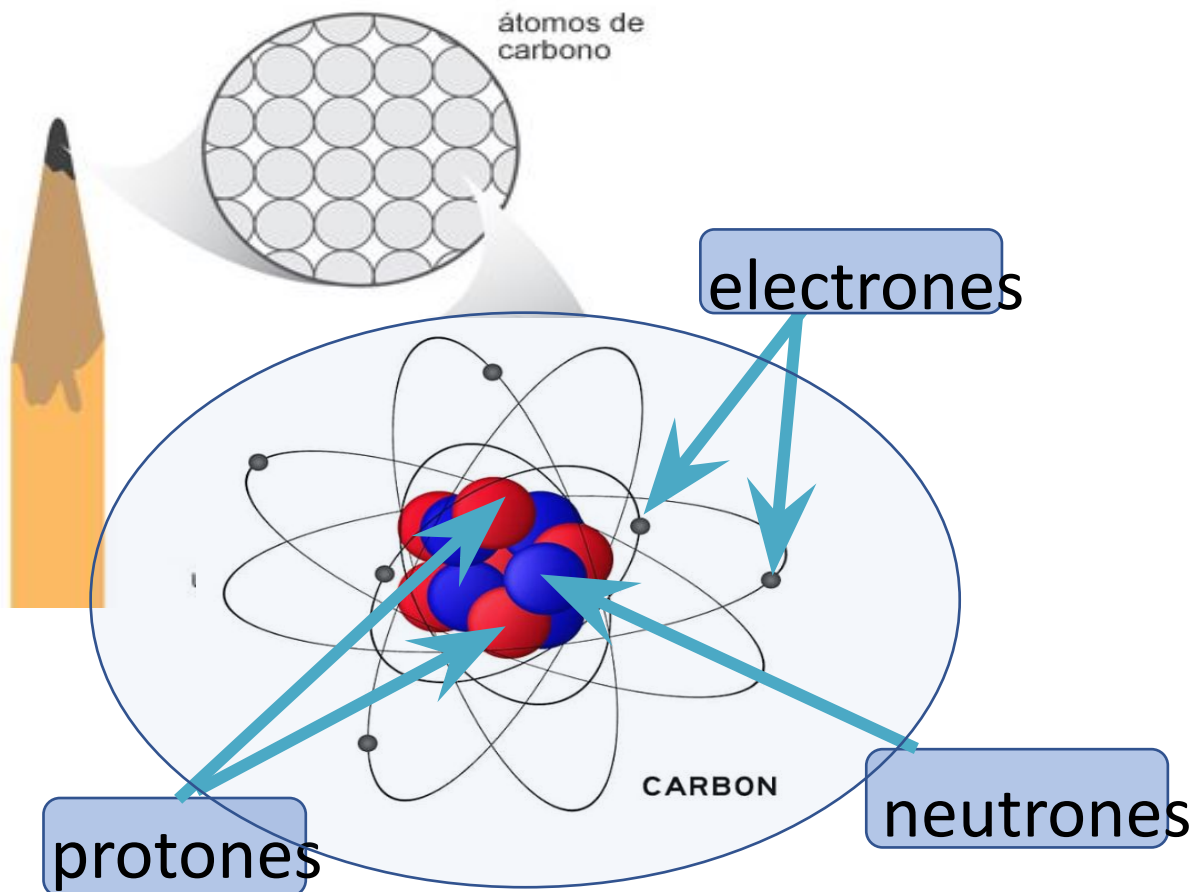
Desde el punto de vista de la Ingeniería, las aplicaciones de la electricidad y el magnetismo están presentes en muchísimas tecnologías: artefactos eléctricos, radios, teléfonos, televisores, computadores, luz, etc





UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

Para entender los fenómenos eléctricos y magnéticos es necesario **viajar dentro de los cuerpos hasta sus átomos (escala atómica de la materia)**



- Partículas del átomo:

- Protón

- Neutrón

- Electrón (e^-)

Protones y neutrones
forman el núcleo del átomo

Electrones orbitan en torno
al núcleo del átomo



Propiedades de las partículas atómicas:

Masa:

- Masa del protón: $m_p = 1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- Masa del neutrón: $m_n = 1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- Masa del electrón: $m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$

La masa del protón y del neutrón son muy parecidas (prácticamente iguales)

$$\frac{m_p}{m_e} = 1835,55$$



El protón es aproximadamente 1800 veces más masivo que el electrón!



En una serie de experimentos se logró establecer que las partículas poseían **carga eléctrica** de dos tipos, las cuales Benjamin Franklin (1706–1790) denominó positiva y negativa. Así por ejemplo:

- Los protones tienen carga eléctrica **positiva**: (+)
- Los electrones (e^-) tienen carga **negativa**: (-)
- Los neutrones tienen carga **neutra**, en otras palabras los neutrones tienen carga eléctrica cero.

La carga eléctrica se mide en **Coulomb (C)** en el Sistema Internacional de Unidades (S.I.)



Carga eléctrica
del electrón

$$= -1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Carga eléctrica
del protón

$$= +1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

- La carga eléctrica está cuantizada en términos de la carga elemental:

$$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Cuantización de la carga: todas la cargas son múltiplos enteros de e .

La carga eléctrica del electrón es $-e$, en cambio la carga eléctrica del protón es $+e$

Si un cuerpo tiene el mismo número de protones y electrones entonces no tiene carga neta (**no está cargado**). En cambio si tiene algún déficit o exceso de electrones (respecto al número de protones), el cuerpo **está cargado**.

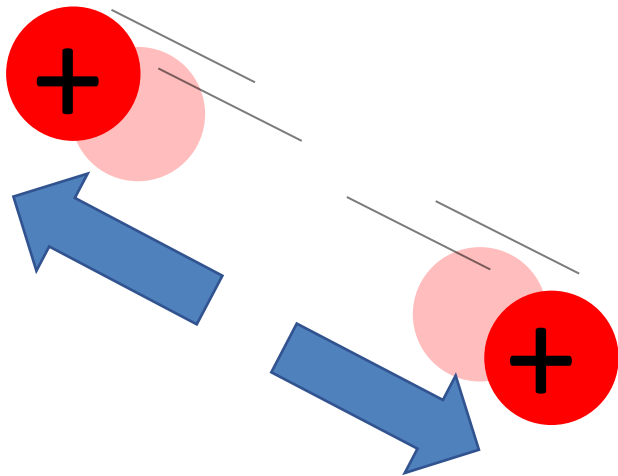


UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

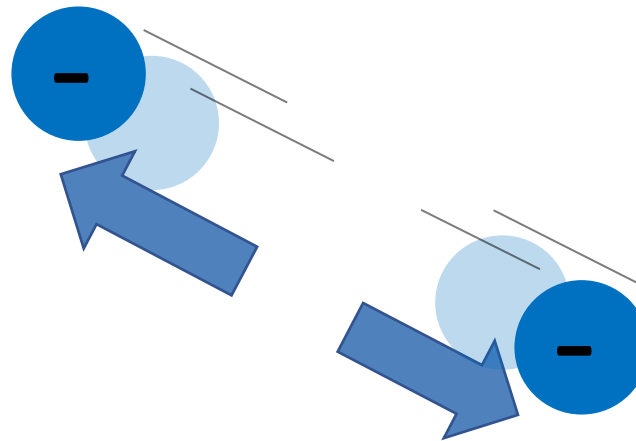
Interacción entre cargas eléctricas

Las cargas eléctricas interactúan  Fuerza ejercida entre cargas

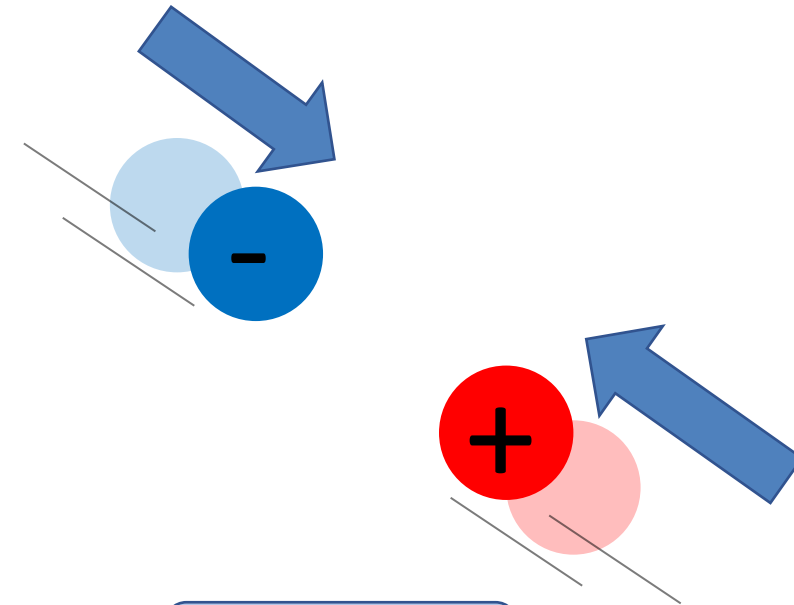
Cargas del mismo signo se repelen, en cambio cargas de signos opuestos se atraen



Repulsión



Repulsión



Atracción



Ley de Coulomb

La magnitud de la fuerza eléctrica entre 2 cargas es proporcional al producto sus las cargas:

$$\vec{F}_e \propto q_1 q_2$$

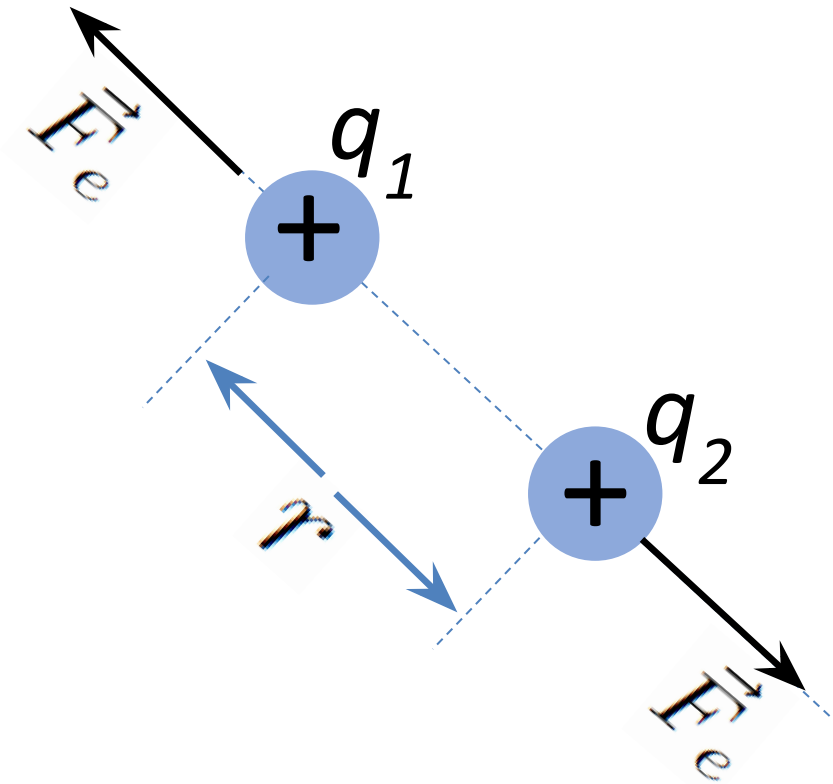
La magnitud de la fuerza eléctrica entre 2 cargas es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa

$$|\vec{F}_e| \propto \frac{1}{r^2}$$

La constante de proporcionalidad corresponde a la constante de Coulomb: k

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

ϵ_0 : constante, llamada la permitividad del vacío

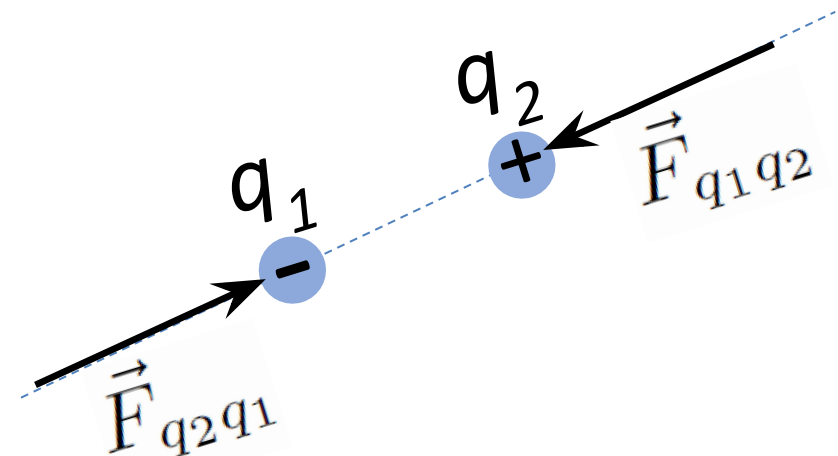
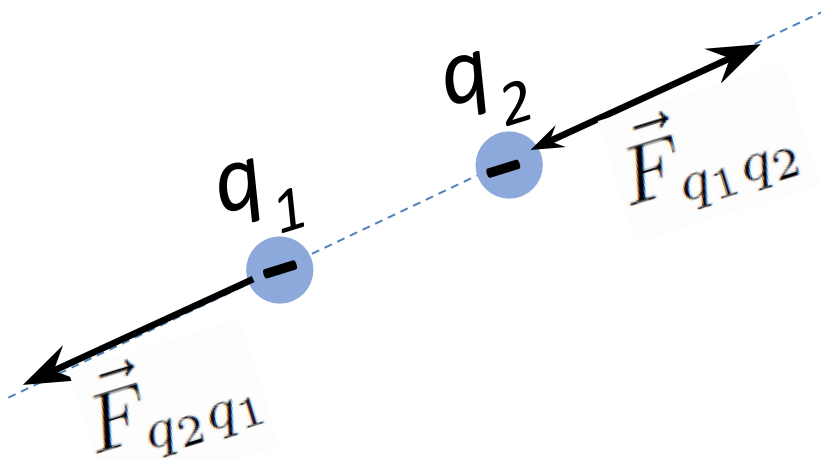


$$|\vec{F}_e| = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (1)$$

Para expresar la fuerza eléctrica, conviene utilizar la notación con subíndices:

$\vec{F}_{q_1 q_2}$: Fuerza eléctrica **ejercida por** la carga q_1 **sobre** la carga q_2

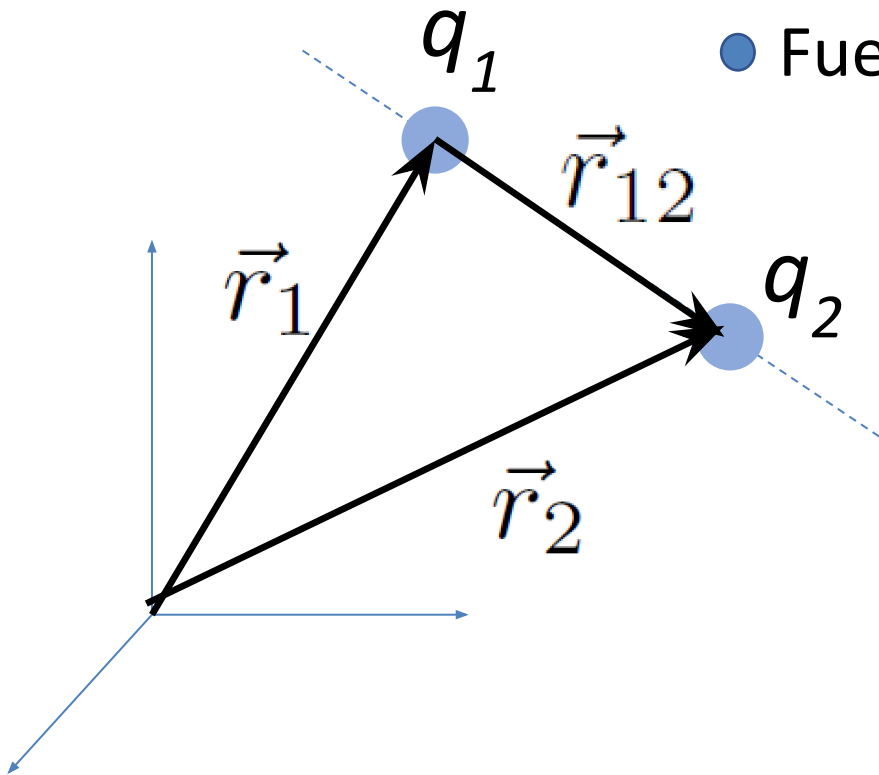
$\vec{F}_{q_2 q_1}$: Fuerza eléctrica **ejercida por** la carga q_2 **sobre** la carga q_1



● Acción y Reacción:

$$\vec{F}_{q_1 q_2} = -\vec{F}_{q_2 q_1}$$

(2)



• Fuerza eléctrica **sobre** q_2 :

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

(3)

equivalentemente:

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

Aplica tanto para cargas de signos opuestos como del mismo signo!

\vec{r}_1 :Vector posición de la carga q_1

\vec{r}_2 :Vector posición de la carga q_2

\vec{r}_{12} :Vector que parte en q_1 y termina en q_2

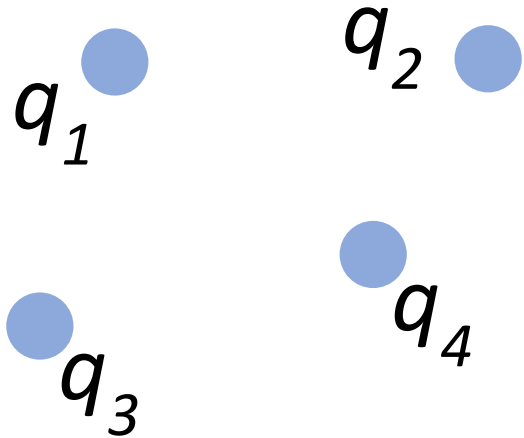
$\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}$:vector **unitario** de \vec{r}_{12}

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



Principio de superposición: distribuciones discretas

Cuando existen más de dos cargas, cada una de las cargas ejerce fuerza sobre las demás restantes. Sin embargo, **al estudiar alguna de las cargas del sistema, sólo interesa las fuerzas ejercidas sobre esa carga.**



- Fuerza eléctrica **sobre** la carga q_3 :

$$\vec{F}_{q_3} = \vec{F}_{q_1 q_3} + \vec{F}_{q_2 q_3} + \vec{F}_{q_4 q_3}$$

- Generalizando para un sistema de N cargas puntuales:

Fuerza eléctrica
sobre carga q_j

$$\vec{F}_{q_j} = \sum_{i \neq j}^N \vec{F}_{q_i q_j}$$

$$\vec{F}_{q_i q_j} = k \frac{q_i q_j}{r_{ij}^3} \vec{r}_{ij}$$

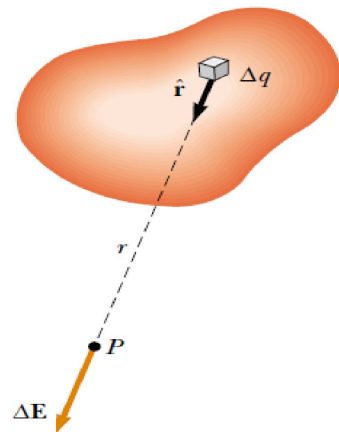
(4)



Principio de superposición para una distribución continua

Cuando las cargas están distribuidas de manera continua, por ejemplo en un volumen V , $dq = \rho dv$, con ρ la densidad volumétrica de carga, el principio de superposición expresado a través de la ecuación (4) conduce a que las sumas se transformen en una integral de tipo Riemann (matemático alemán 1826-1866).

Así, la fuerza que ejerce una carga distribuida en un volumen V sobre q_0 **dividida por q_0** , que denotaremos por $\mathbf{E} = \mathbf{F}/q_0$, donde \mathbf{E} lo llamaremos **Campo Eléctrico**, se obtiene del principio de superposición en el límite al continuo $\Delta q_i \rightarrow 0$:



$$\Delta \mathbf{E} = k_e \frac{\Delta q}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad \Delta q_i \rightarrow 0$$

$$\mathbf{E} = k_e \lim_{\Delta q_i \rightarrow 0} \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i = k_e \int \frac{dq}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

(5)



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

Resumen

Carga Eléctrica

Interacción entre cargas

Ley de Coulomb

*Principio de Superposición
distribuciones discretas*

*Principio de Superposición
distribuciones continuas*