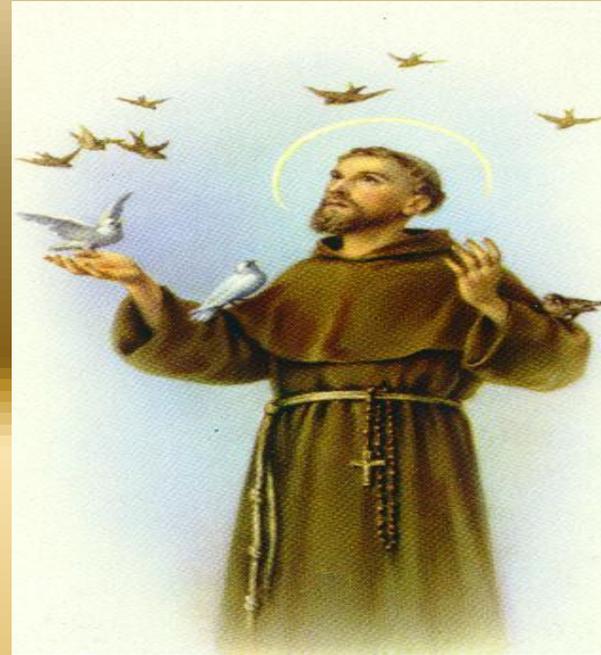


4<sup>a</sup>

UNIDAD



# ELECTROMAGNETISMO

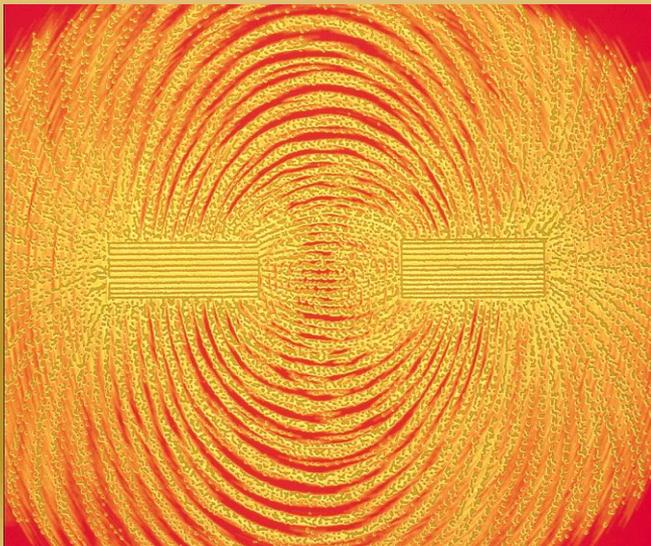
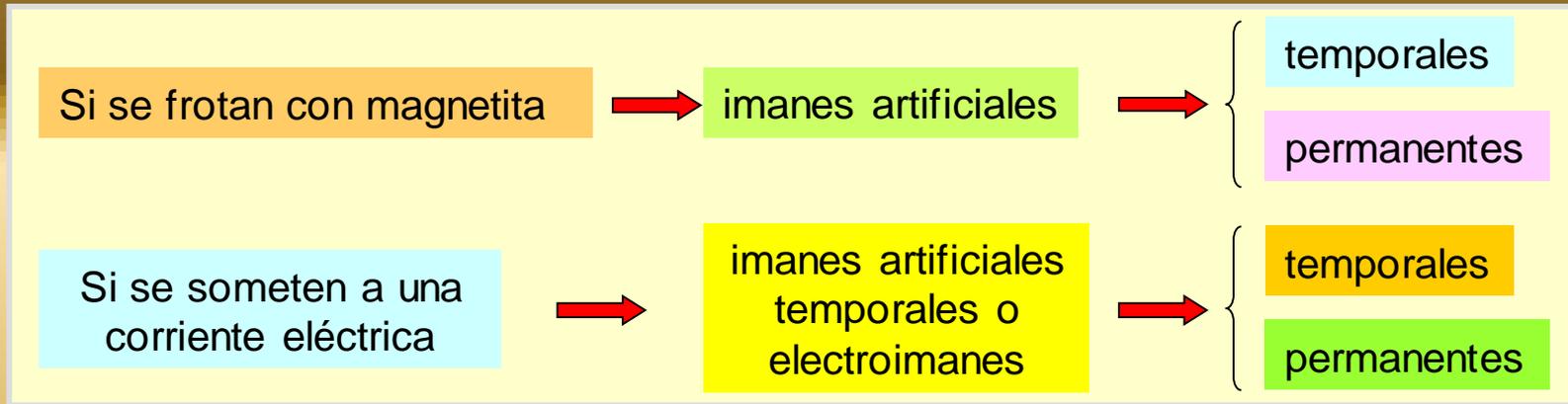
CIENCIAS NATURALES  
ÁREA FÍSICA

CESF

Prof. José Miguel Molina<sub>1</sub>

# MAGNETISMO E IMANES

- **Sustancias magnéticas:** aquellas que son atraídas por la magnetita. Pueden convertirse en imanes mediante diferentes **formas de imantación:**

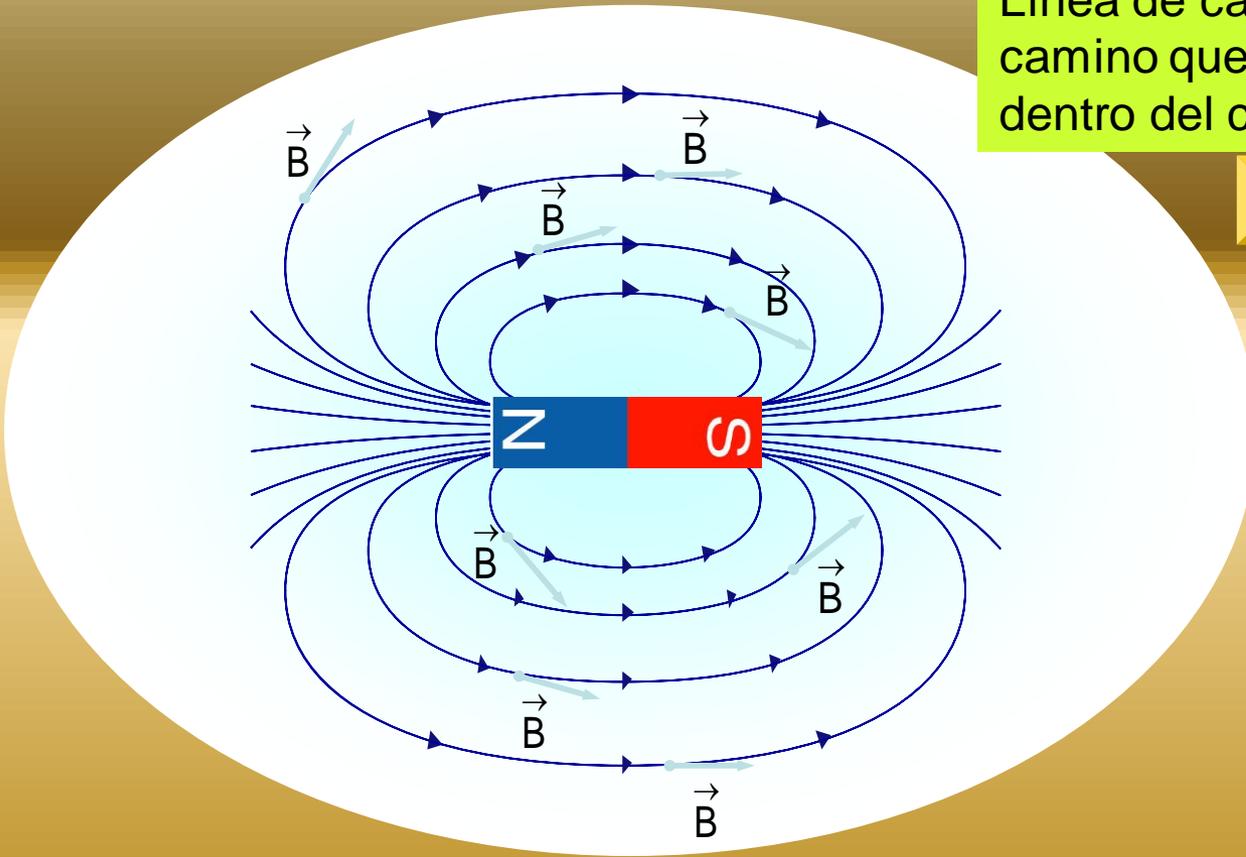


Líneas de fuerza magnética

- Se pueden visualizar las **líneas magnéticas** de un imán, espolvoreando limaduras de hierro sobre una cartulina situada sobre él
- Los **polos** de distinto nombre se atraen y aquellos del mismo nombre se repelen
- Es **imposible separar los polos** de un imán

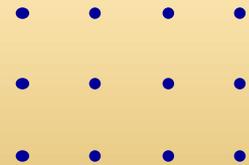
- Se dice que un imán produce un campo magnético en el espacio que lo rodea si al colocar pequeños trozos de hierro próximos a él, los atrae

Línea de campo magnético es el camino que seguiría un polo norte dentro del campo.



### Representación simbólica

Hacia fuera del papel



Hacia dentro del papel

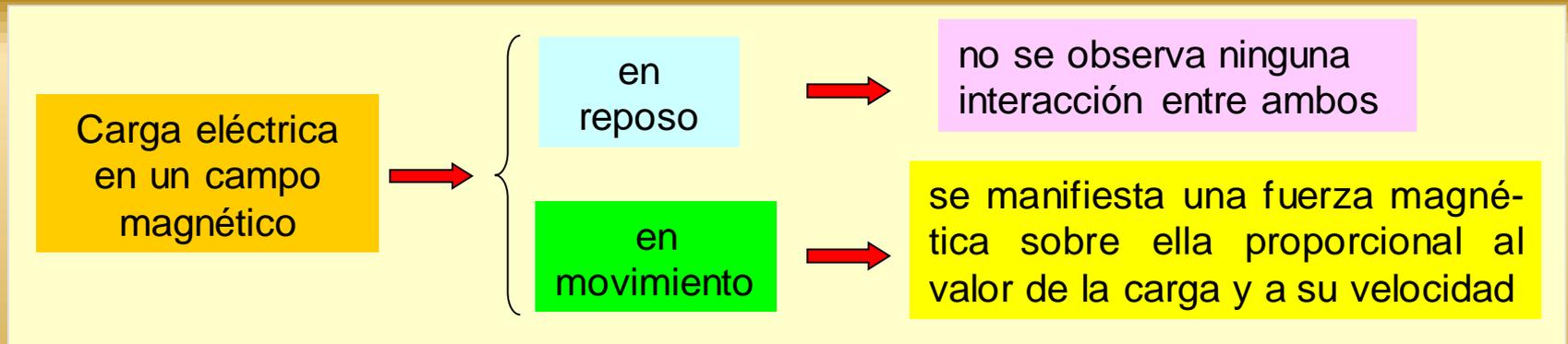


**Las líneas de fuerza del campo magnético van de norte a sur**

- **Campo magnético uniforme** es aquel en el que la intensidad de  $\vec{B}$  es la misma en todos los puntos

# FUERZA QUE EJERCE EL CAMPO MAGNÉTICO SOBRE UN ELEMENTO DE CORRIENTE

## 1-CARGA ELÉCTRICA DENTRO DE UN CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME. LEY DE LORENTZ.



- Se define un vector  $\vec{B}$ , denominado **inducción magnética**, en cada punto del espacio mediante la relación: 
$$\vec{F} = q (\vec{v} \times \vec{B})$$

- Si  $\alpha$  es el ángulo que forman los vectores  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$  en un punto del espacio, el módulo de la fuerza que actúa sobre la carga  $q$  en ese punto es:  $F = q v B \text{ sen } \alpha$

$$\text{Si } \begin{cases} \alpha = 0 \Rightarrow F = 0 & (\text{si la carga se introduce paralela a } \vec{B}) \\ \alpha = 90 \Rightarrow F = F_{\text{máx}} \end{cases}$$

- Sea una carga positiva con velocidad  $\vec{v}$  que penetra en un campo magnético de inducción magnética  $\vec{B}$ . Según la posición relativa de ambos vectores, se pueden presentar tres casos:

- Los vectores  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$  sean paralelos
- Los vectores  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$  sean perpendiculares
- Los vectores  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$  formen entre sí un ángulo cualquiera  $\alpha$

Si  $\vec{v}$  es paralela a  $\vec{B}$

$$F = q v B \sin 0 = 0 \Rightarrow F = 0 \Rightarrow$$

la partícula se moverá con **MRU** mantiene al velocidad y dirección que llevaba porque el campo no le afecta.

Si  $\vec{v}$  es perpendicular a  $\vec{B}$

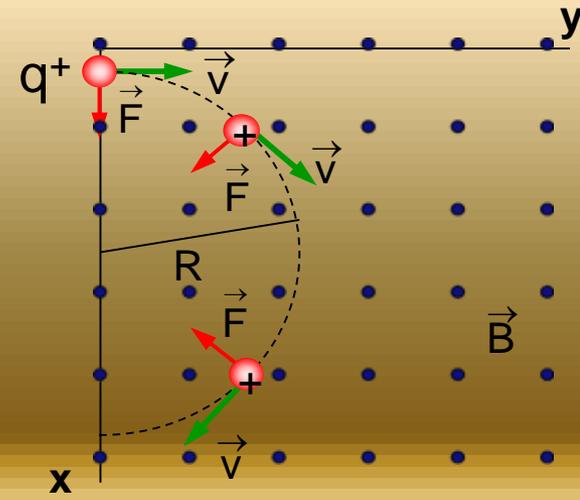
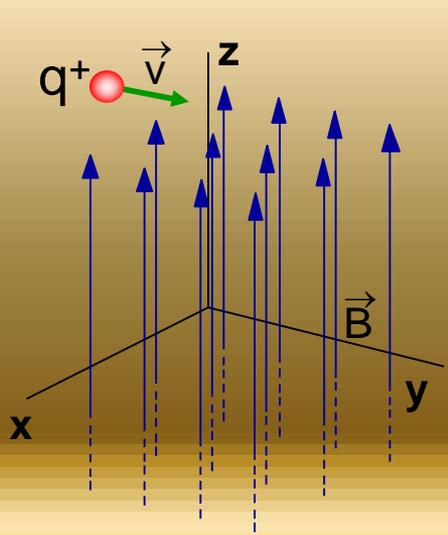
$$F = q v B \sin 90 = q v B \Rightarrow F = q v B \Rightarrow$$

La partícula se desplazará con **MCU** ya que el producto vectorial hace que la fuerza salga perpendicular a la trayectoria

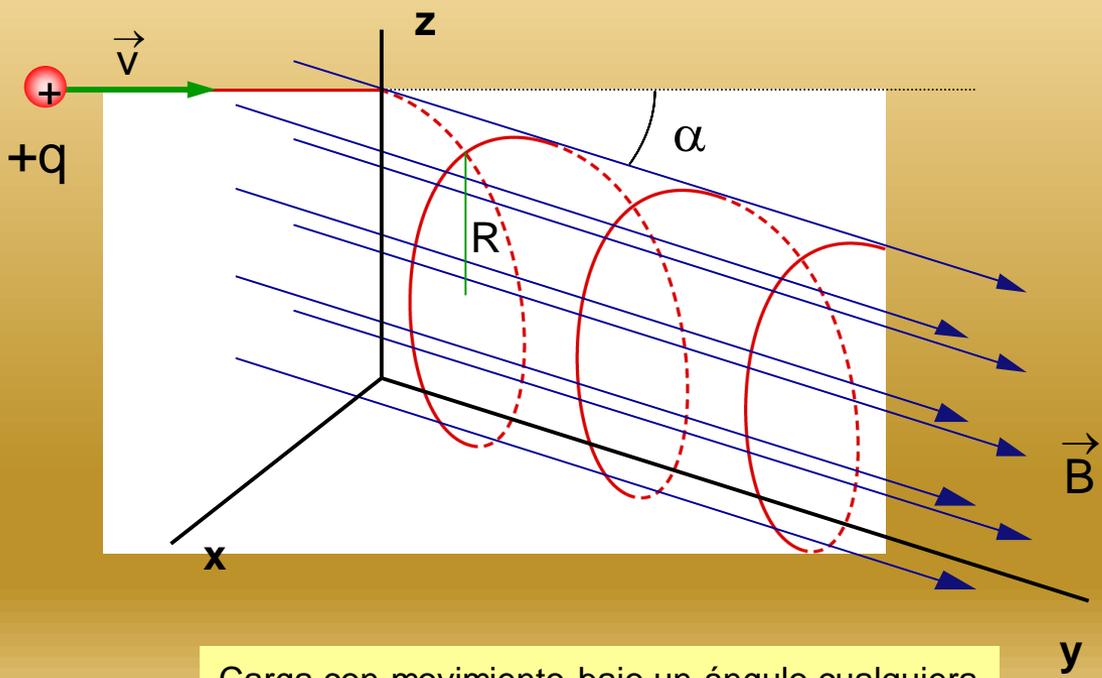
$$F = \frac{m v^2}{R} = q v B \Rightarrow R = \frac{m v}{q B}$$

siendo R el radio de la trayectoria circular

$$\Rightarrow T = \frac{2 \pi R}{v} = \frac{2 \pi m}{q B}$$



Si  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$  forman un ángulo cualquiera  $\alpha$



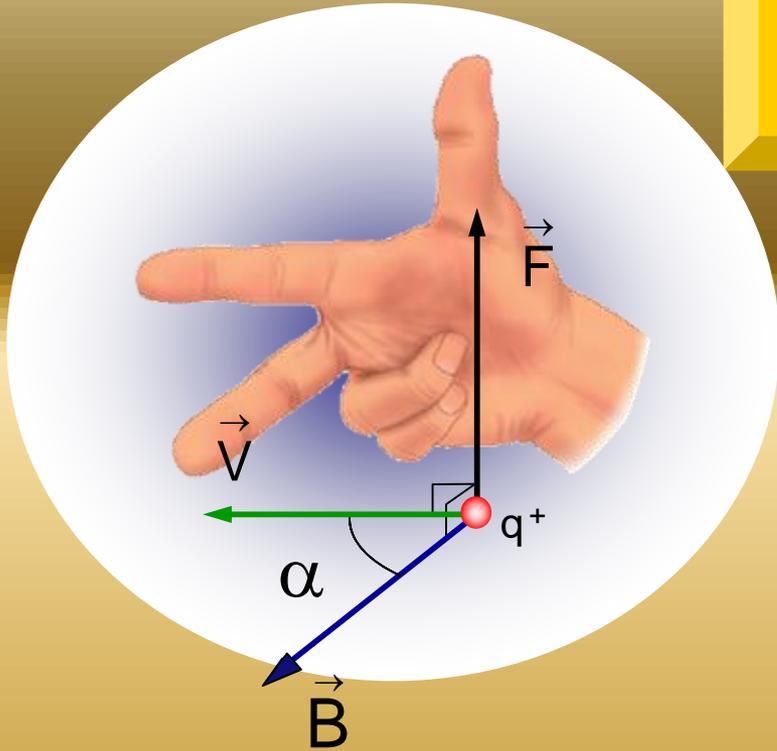
$$F = q v B \text{ sen } \alpha$$

$$R = \frac{m v \text{ sen } \alpha}{Bq}$$

La partícula seguirá una trayectoria helicoidal

Carga con movimiento bajo un ángulo cualquiera

## Unidades de medida DEL CAMPO MAGNÉTICO O INDUCCIÓN MAGNÉTICA



Fuerza sobre una carga eléctrica positiva en un campo magnético

$$\vec{F} = q (\vec{V} \times \vec{B})$$

- La unidad de inducción magnética en el S.I. es el **tesla (T)**
- Un **tesla** es el valor de la inducción magnética de un campo que ejerce una fuerza de **1 N** sobre una carga eléctrica de **1 C** que se mueve con una velocidad de **1m/s** perpendicular al campo

- Si una carga eléctrica  $q$  se encuentra en una región del espacio en la que coexisten un campo eléctrico de intensidad  $\vec{E}$  y un campo magnético  $\vec{B}$ , actuarán sobre la carga una fuerza eléctrica  $q\vec{E}$  y una fuerza  $q(\vec{V} \times \vec{B})$  debida al campo magnético
- La fuerza total sobre la carga será la suma de ambas:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{V} \times \vec{B})$$

Fuerza que actúa sobre una carga eléctrica en un espacio donde coexisten un campo eléctrico y un campo magnético es:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{V} \times \vec{B})$$

## 2-Fuerza magnética sobre un conductor rectilíneo

- Sea un conductor rectilíneo de longitud  $L = v \Delta t$  y sección  $S$ , por el que circula una intensidad de corriente  $I$

- Siendo  $\Delta q$  la carga total que atraviesa  $S$  en un tiempo  $\Delta t$ , la intensidad de corriente es:

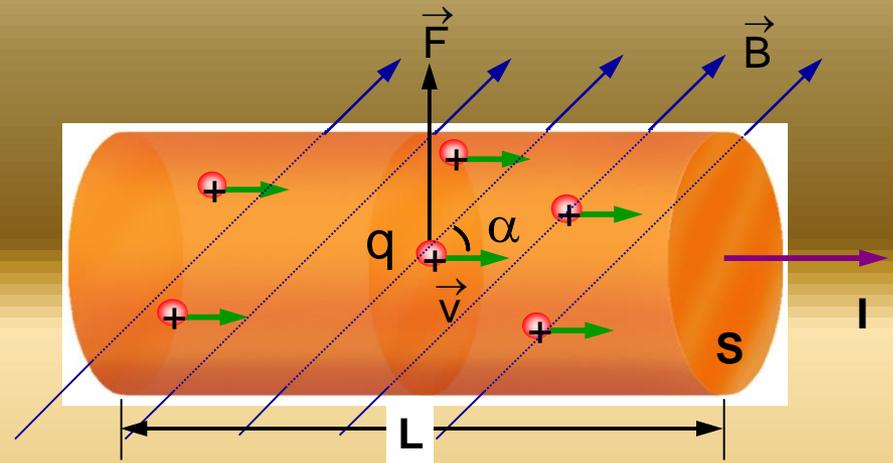
$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

- La fuerza de Lorentz sobre la carga es:

$$F = \Delta q v B \sin \alpha = (I \Delta t) v B \sin \alpha = I (v \Delta t) B \sin \alpha \Rightarrow F = I L B \sin \alpha$$

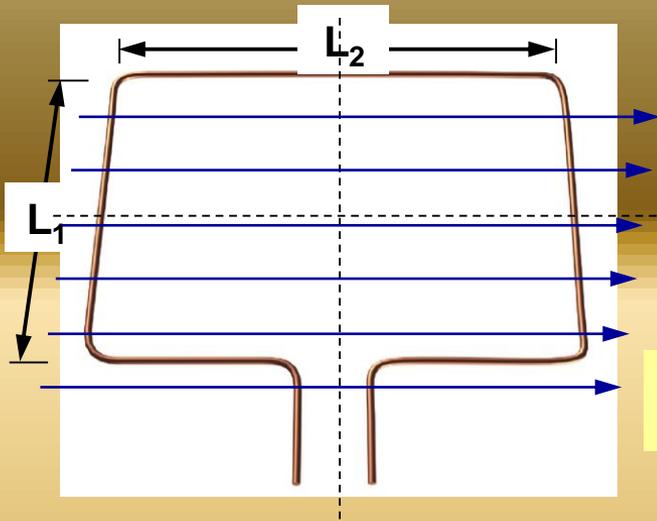
- La fuerza magnética sobre un conductor rectilíneo de longitud  $L$  por el que circula una corriente  $I$  situado en un campo magnético  $\vec{B}$  es:

$$\vec{F} = I (\vec{L} \times \vec{B})$$

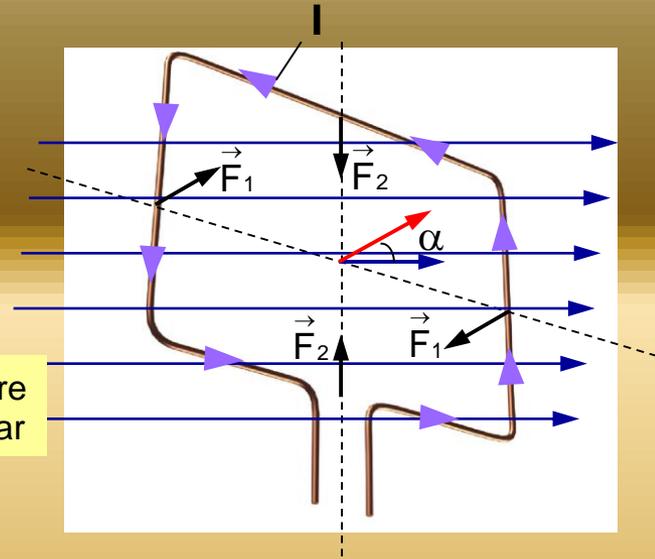


Segmento de conductor rectilíneo de longitud  $L$  y sección  $S$

# Momento del campo magnético sobre una espira



Par de fuerzas sobre una espira rectangular



- Las fuerzas magnéticas sobre los lados  $L_2$  de la espira  $\vec{F}_2 = I (\vec{L}_2 \times \vec{B})$  son iguales en módulo y de sentidos opuestos, y se anulan entre sí

- Lo mismo ocurre sobre los lados  $L_1$  de la espira, pero su línea de acción es distinta, formando un par de fuerzas que produce un giro

- El momento del par de fuerzas sobre la espira es  $M = I L_1 B \cdot L_2 \sin \alpha = I S B \sin \alpha$

$$\vec{M} = I (\vec{S} \wedge \vec{B}) = \vec{m} \wedge \vec{B}$$

siendo  $\vec{m}$  el momento magnético

# Galvanómetro de cuadro móvil

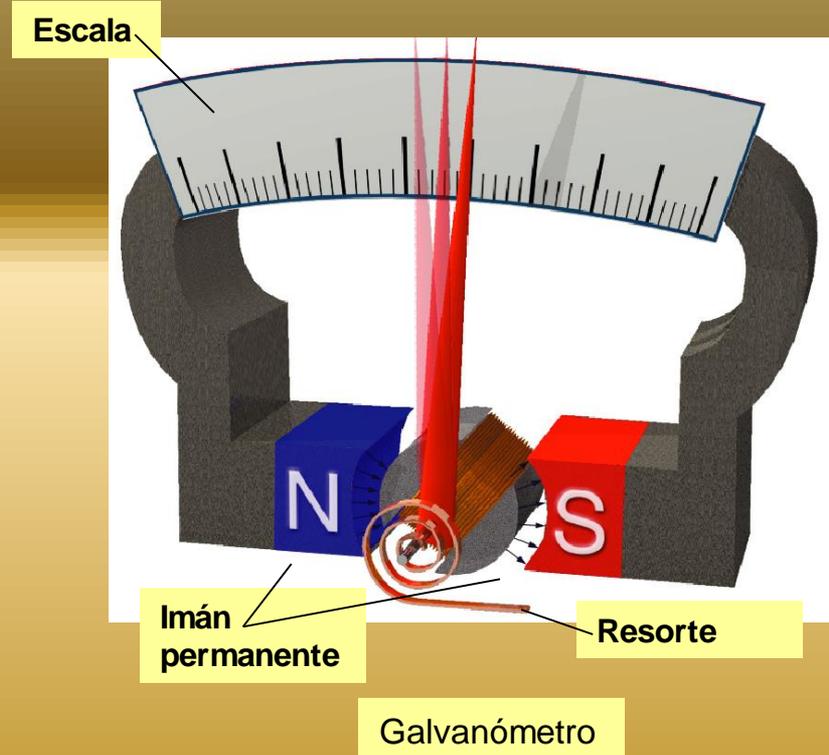
- Es un aparato que mide la intensidad de la corriente eléctrica

- Es el fundamento de los amperímetros y voltímetros

- Consta de una bobina situada en un campo magnético radial formando siempre entre ambos un ángulo recto

- Al circular la corriente por la bobina se genera un par de fuerzas que la hace girar, siendo proporcional al ángulo girado

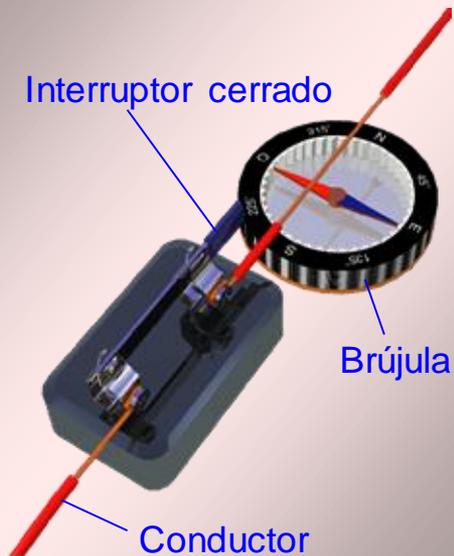
- La bobina se detiene cuando ambos pares son iguales



# EL EXPERIMENTO DE OERSTED

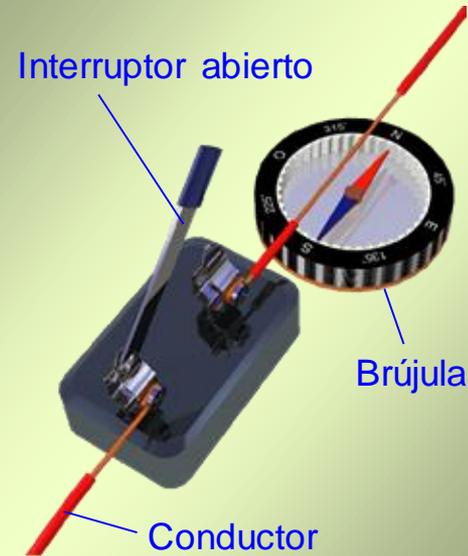
- En 1820 **Hans Christian Oersted** demostró experimentalmente los efectos de una corriente eléctrica sobre una corriente imantada

## CIRCUITO CERRADO



Situó la aguja paralela a un conductor rectilíneo. Observó que giraba hasta quedar perpendicular al conductor cuando circulaba por él una corriente eléctrica

## CIRCUITO ABIERTO



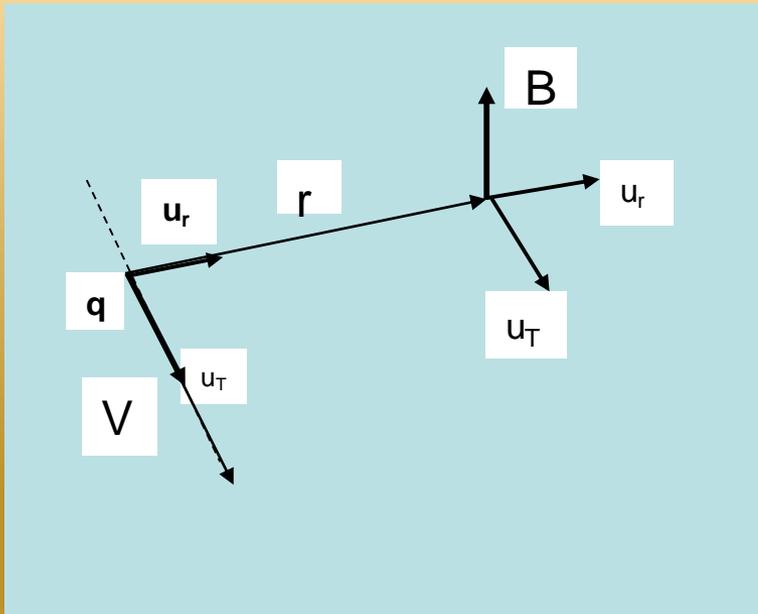
La aguja volvía a su posición inicial al cesar la corriente eléctrica. El paso de la corriente ejercía sobre la aguja imantada los mismos efectos que un imán

## 1-LAS CARGAS ELÉCTRICAS EN MOVIMIENTO CREAN CAMPOS MAGNÉTICOS

Cuando una carga eléctrica está en reposo genera un campo eléctrico (electrostático=carga en reposo) pero si la carga se mueve genera a la vez un campo eléctrico y uno magnético con lo que podemos decir que los campos magnéticos son una parte de los campos eléctricos que aparecen cuando las cargas se mueven

Ecuación de Ampere y Laplace:  $\vec{B} = \frac{\mu \cdot q \cdot v}{4\pi \cdot r^2} (\vec{u}_T \times \vec{u}_r)$  TESLA  
en el vacío queda:

$$\vec{B} = 10^{-7} \cdot \frac{q \cdot v}{r^2} (\vec{u}_T \times \vec{u}_r)$$



Es interesante observar que el campo magnético, igual que ocurría con el eléctrico depende del medio y esta dependencia se manifiesta por los diferentes valores que toma la constante magnética según el medio. También se puede definir una constante magnética en el vacío  $K_m=10^{-7}$

Igual que ocurría con el campo gravitatorio y el eléctrico, el campo magnético disminuye con el cuadrado de la distancia a la fuente que genera el campo (en este caso una carga en movimiento) en módulo la intensidad de campo queda :

$$K_m = \frac{\mu}{4\pi}$$

$$B = K_m \frac{q \cdot v}{r^2}$$

## 2- CAMPO MAGNÉTICO GENERADO POR UNA CORRIENTE RECTILÍNEA

- Biot y Savart midieron el valor de la inducción magnética  $B$ , debida a un conductor rectilíneo largo por el que circula una corriente  $I$  en un punto situado a una distancia  $r$ :

$$\left. \begin{aligned} B &= k \frac{I}{r} \\ k &= \frac{\mu_0}{2\pi} \end{aligned} \right\} \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

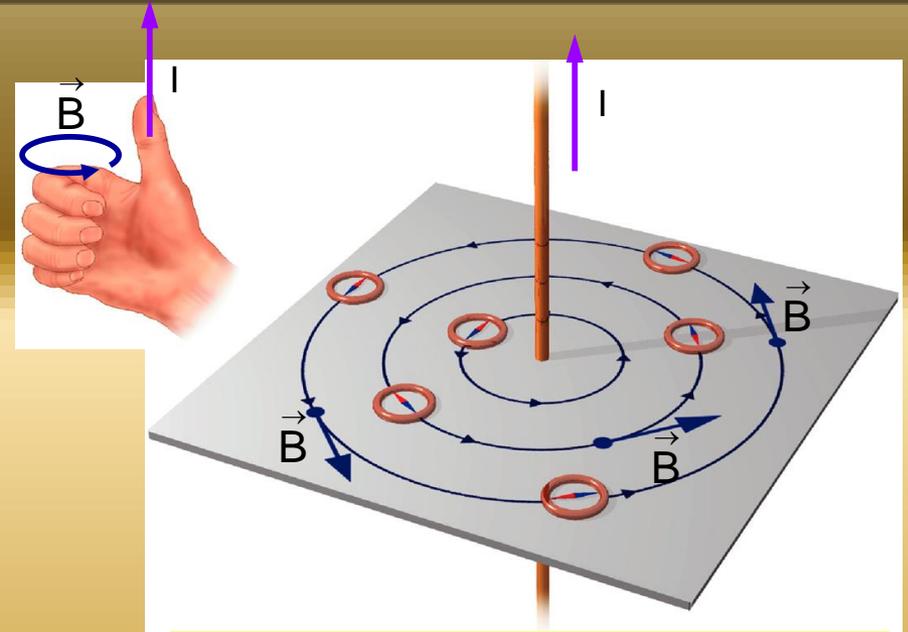
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$$

- El valor de la inducción magnética  $\Delta B$  debida a un elemento de conductor de longitud  $\Delta L$  por el que circula una corriente  $I$  en un punto a una distancia  $r$  del mismo es:

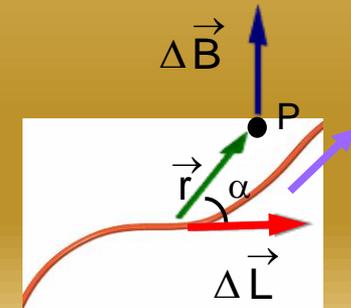
$$\Delta B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\Delta L \operatorname{sen} \alpha}{r^2}$$

$\Rightarrow$

$$\Delta \vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\Delta \vec{L} \times \vec{r}}{r^3}$$

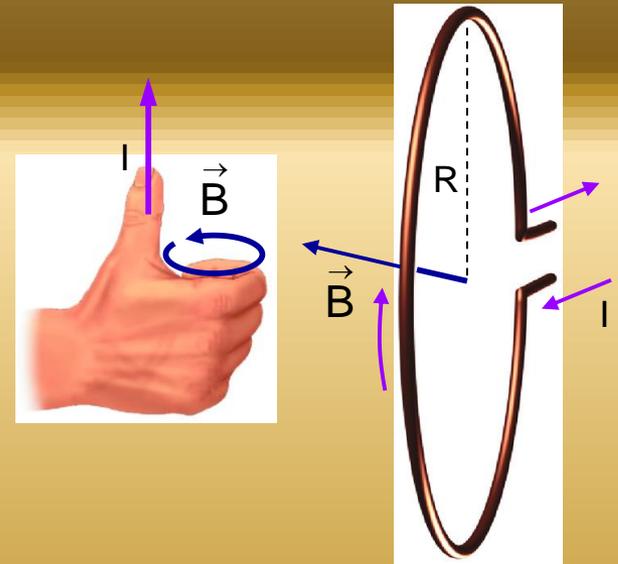


Campo magnético creado por un conductor rectilíneo. Regla de la mano derecha



### 3-CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UNA ESPIRA CIRCULAR

- La ley de Biot y Savart permite calcular el campo magnético en el centro de una espira circular de radio  $R$  por la que circula una corriente eléctrica  $I$
- El campo es perpendicular a todos los elementos de corriente en que podemos descomponer la espira por ser perpendicular al plano que la contiene, por tanto:



$$\Delta B = \sum(\Delta B) = \sum\left(\frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\Delta L}{r^2}\right) = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} \sum(\Delta L) \Rightarrow \sum(\Delta L) = 2\pi R \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

# FUERZAS MAGNÉTICAS ENTRE DOS CONDUCTORES RECTILÍNEOS Y PARALELOS

- El primer conductor genera un campo cuya inducción magnética en un punto cualquiera del segundo conductor es, según Biot y Savart:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$$

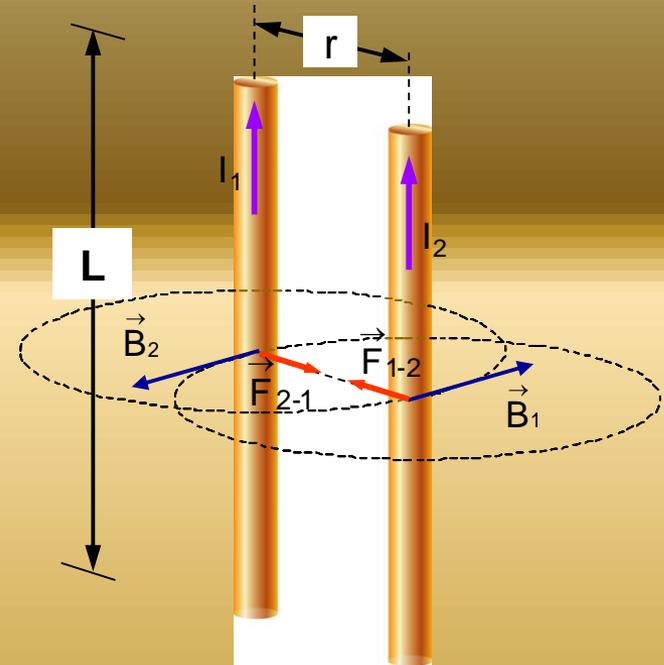
- $B_1$  es perpendicular al segundo conductor y al plano en el que se encuentran ambos conductores, y ejerce una fuerza magnética:

$$F_{1-2} = I_2 L B_1 \sin 90$$

$$F_{1-2} = I_2 L \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} = \frac{\mu_0 L I_1 I_2}{2\pi r}$$

- De igual forma se calcula  $F_{2-1}$  que ejerce el segundo conductor sobre el primero.
- $F_{1-2} = F_{2-1}$  ley de acción y reacción

- Si ambas corrientes tienen el mismo sentido, las fuerzas atraen entre sí a los conductores; si son de sentido contrario, los repelen



Fuerza magnética entre dos conductores

## LEY DE AMPERE

- El campo magnético creado por un conductor rectilíneo, puede escribirse de la forma:

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 I$$

- El primer miembro se denomina **circulación del vector  $\vec{B}$  a lo largo de la circunferencia**
- Ampère demostró que **esta expresión es válida para cualquier línea cerrada que englobe una o más corrientes**, y enunció que:

La circulación de  $\vec{B}$  a lo largo de una línea cerrada es igual a  $\mu_0$  veces la intensidad de la corriente o corrientes encerradas por ella:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{L} = \mu_0 \sum I$$



André Marie Ampère

# CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO A UN SOLENOIDE

- Un **solenoides** es un conjunto de espiras circulares paralelas que pueden ser recorridas por la misma corriente

- Por el solenoide de **longitud**  $L$ , formado por  $N$  **espiras** circula una **corriente**  $I$ . La circulación a lo largo del rectángulo  $OPQR$  es:

$$\vec{B} \cdot \vec{OR} + \vec{B} \cdot \vec{RQ} + \vec{B} \cdot \vec{QP} + \vec{B} \cdot \vec{PO}$$

- La **corriente encerrada** por este rectángulo es  $NI$ . Aplicando la ley de Ampère:

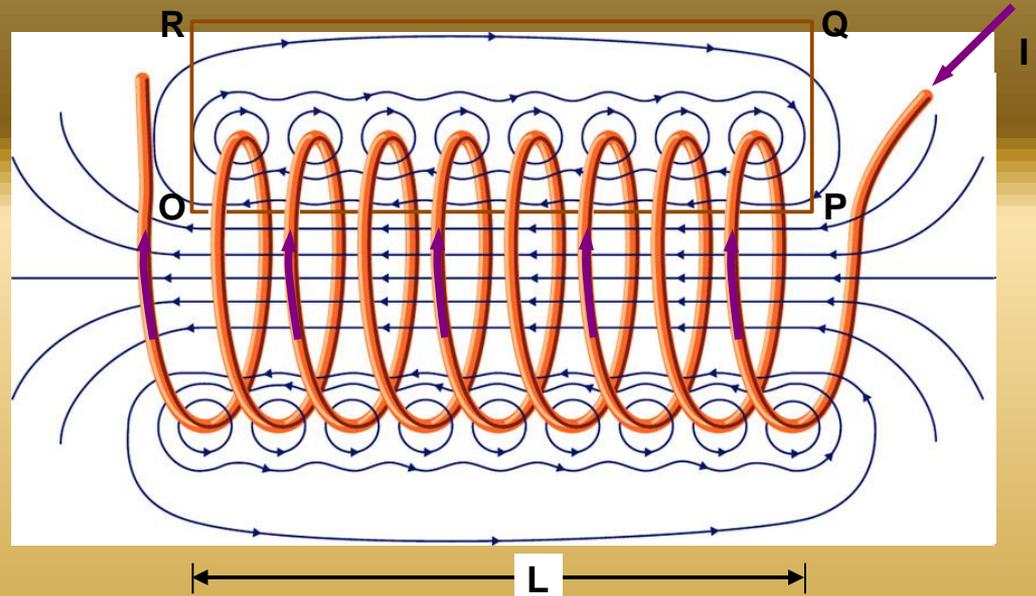
$$\vec{B} \cdot \vec{OR} + \vec{B} \cdot \vec{RQ} + \vec{B} \cdot \vec{QP} + \vec{B} \cdot \vec{PO} = \mu_0(NI)$$

- Como **el campo exterior es nulo**,  $\vec{B} \cdot \vec{RQ} = 0$  y los vectores  $\vec{QP}$  y  $\vec{OR}$  son perpendiculares al campo

( $\vec{B} \cdot \vec{QP} = \vec{B} \cdot \vec{OR} = 0$ ), resulta:

$$\vec{B} \cdot \vec{PO} = \vec{B} \cdot \vec{L} = BL \cos 0 = BL = \mu_0(NI)$$

$$B = \mu_0 n I$$



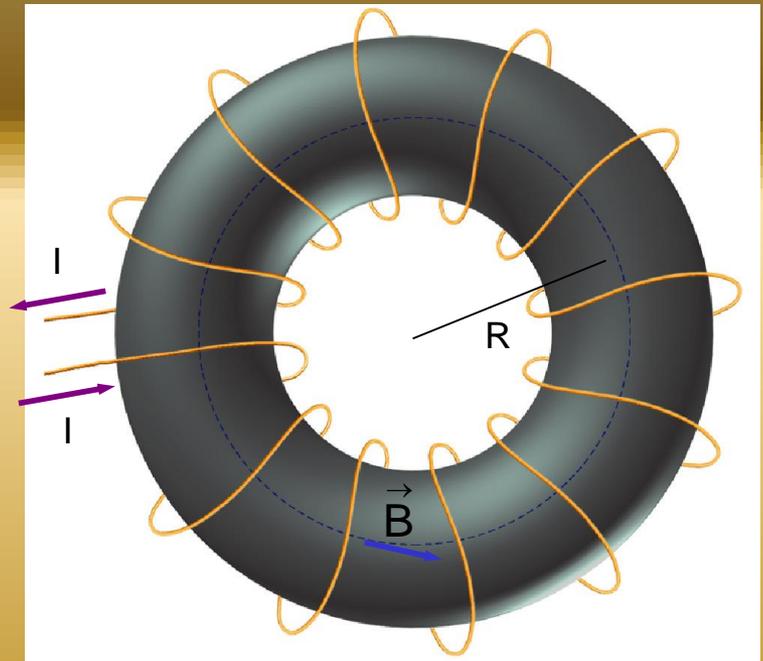
# CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO A UN TOROIDE

- Un **toroide** es un conjunto de espiras circulares arrolladas a un núcleo de hierro en forma de anillo (**anillo toroidal**)

- Para **calcular el campo magnético** en su interior, se considera un toroide de radio medio **R** por el que circula una intensidad de corriente **I**

- Considerando al toroide como a un **solenoides de longitud  $L = 2\pi R$** , el campo magnético en su interior será:

$$B = \mu_0 n I = \mu_0 \frac{N}{2\pi R} I$$

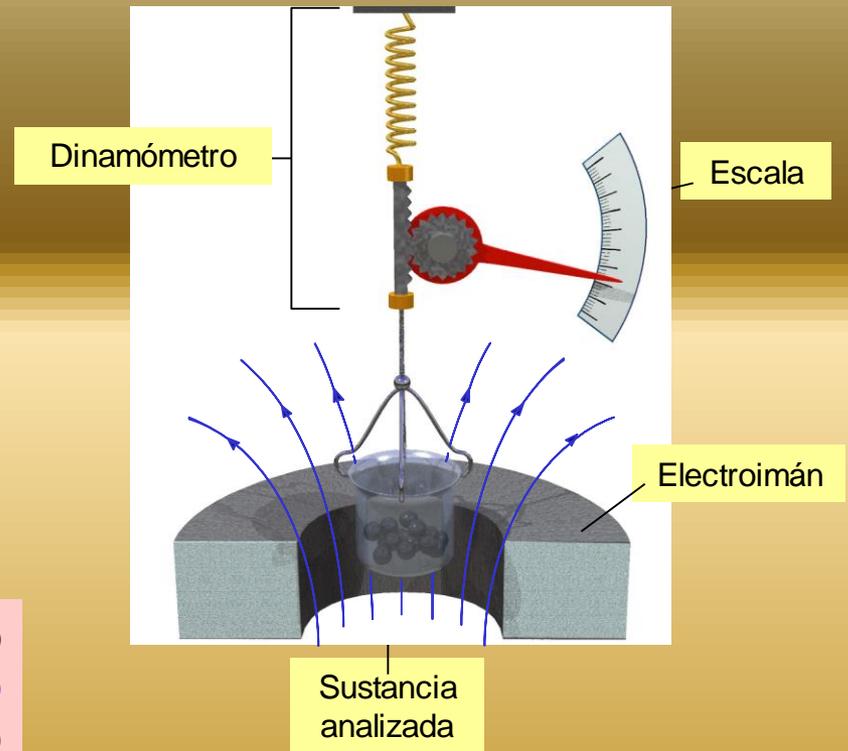


Las líneas de fuerza del campo magnético son circulares y el valor de la inducción magnética es prácticamente igual en todos los puntos interiores del toroide

En el exterior, el campo magnético puede considerarse nulo

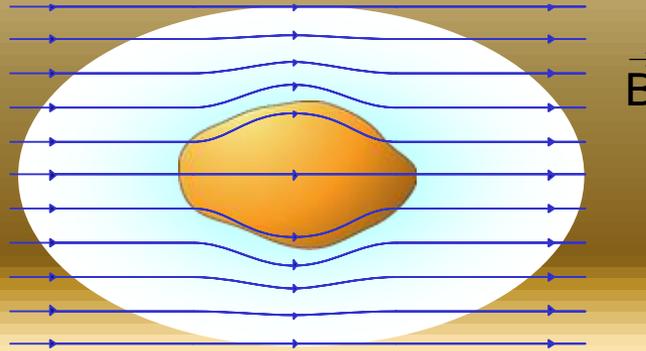
# MAGNETISMO NATURAL

- En los átomos, los electrones en su movimiento alrededor del núcleo y en su giro sobre sí mismos, **constituyen pequeñas espiras de corriente** que generan un campo magnético, comportándose como **pequeños imanes**
- No todas las sustancias se comportan del mismo modo en presencia de un campo magnético
- Esto **se comprueba**, introduciéndola por uno de los extremos del electroimán y **midiendo la fuerza** que ejerce el campo magnético sobre ellas
- Según su comportamiento, se clasifican:
  - sustancias diamagnéticas
  - sustancias paramagnéticas
  - sustancias ferromagnéticas



Medida de la fuerza magnética sobre una sustancia

# SUSTANCIAS DIAMAGNÉTICAS



Comportamiento de una sustancia diamagnética

- El momento magnético de cada átomo es cero
- No presenta efectos magnéticos observables
- Al situar la sustancia en un campo externo, se induce un campo magnético muy débil de sentido opuesto al externo que tiende a alejar la sustancia del imán
- Su permeabilidad magnética siempre es inferior a la del vacío  $\mu_0$
- El agua, el cloruro sódico, el alcohol, el oro, la plata, el cobre, ... son diamagnéticas

# SUSTANCIAS PARAMAGNÉTICAS

- El **momento magnético** de cada átomo **no es cero** debido al movimiento orbital de sus electrones y a su espín

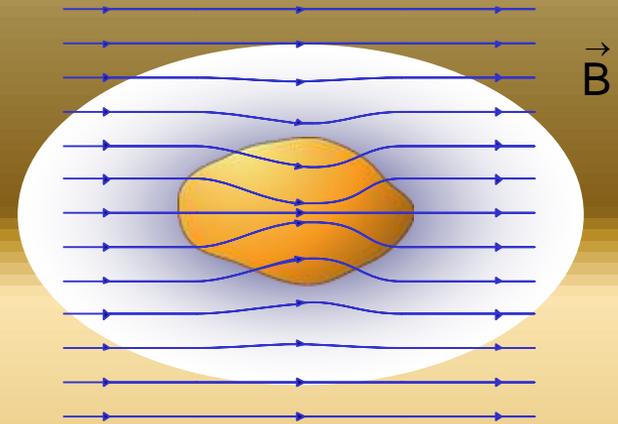
- Al situar la sustancia en un campo externo, los **momentos magnéticos tienden a alinearse** con él, si bien no se consigue una alineación total debido a la agitación térmica

- Se **genera un campo magnético** resultante que es la causa de atracción hacia las zonas más intensas del campo

- Su permeabilidad magnética siempre es **superior a la del vacío  $\mu_0$**

- El estaño, platino, oxígeno y aluminio, **son paramagnéticas** (atraídas débilmente por los imanes)

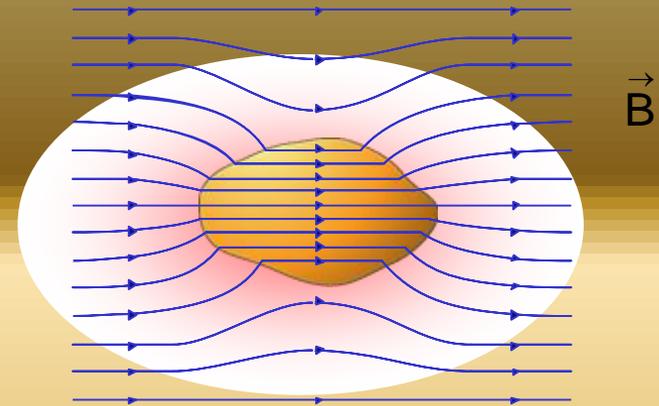
- El paramagnetismo **aumenta al disminuir la temperatura**, siendo máximo cerca del cero absoluto



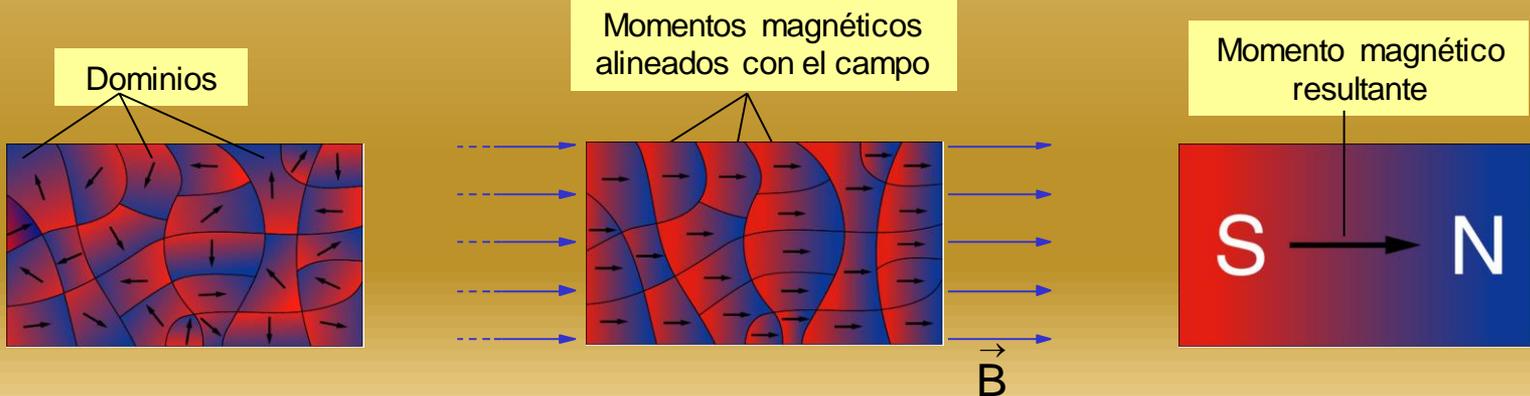
Comportamiento de una sustancia paramagnética

# SUSTANCIAS FERROMAGNÉTICAS

- Son **sustancias atraídas muy intensamente** por los imanes
- Sus efectos desaparecen por encima de una temperatura, característica de cada sustancia, llamada **punto de Curie**
- Sus **átomos están agrupados en grandes dominios**, y en cada uno de ellos, los momentos magnéticos de todos sus átomos, presentan una misma orientación debido a la interacción entre ellos
- Por encima del punto de Curie, la agitación térmica desalinea los dominios, y la sustancia pasa a comportarse como **paramagnética**

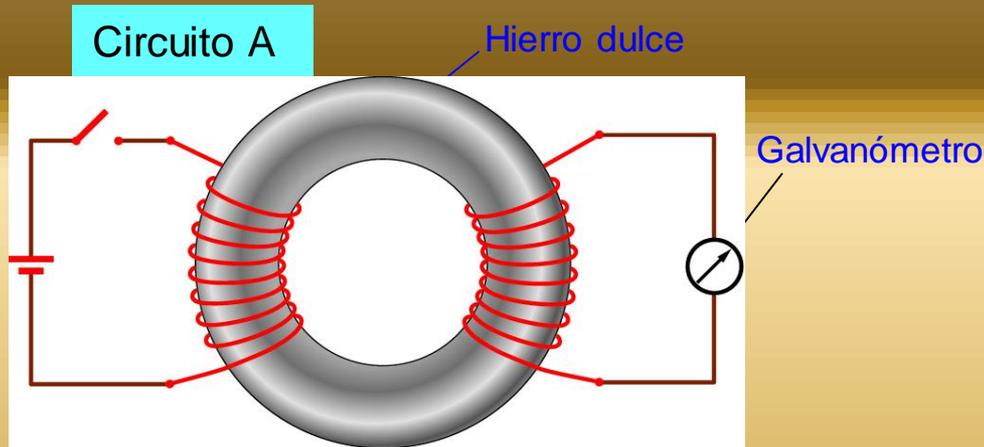


Comportamiento de una sustancia ferromagnética



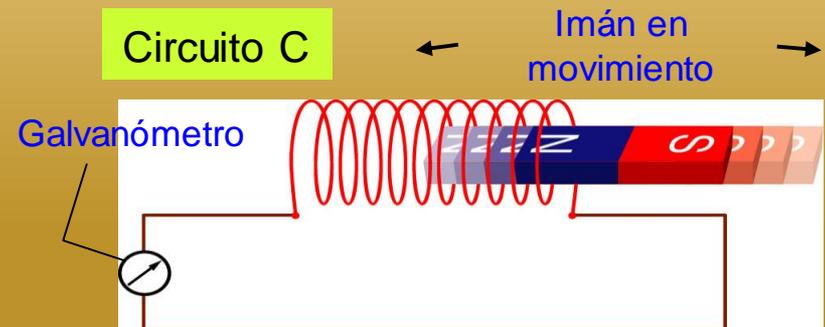
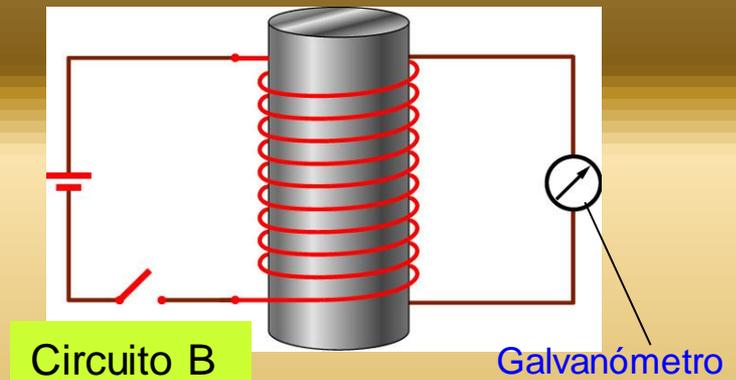
# LOS EXPERIMENTOS DE FARADAY

- **Oersted** mostró que la corriente eléctrica produce un campo magnético, pero ¿se cumple el proceso inverso?

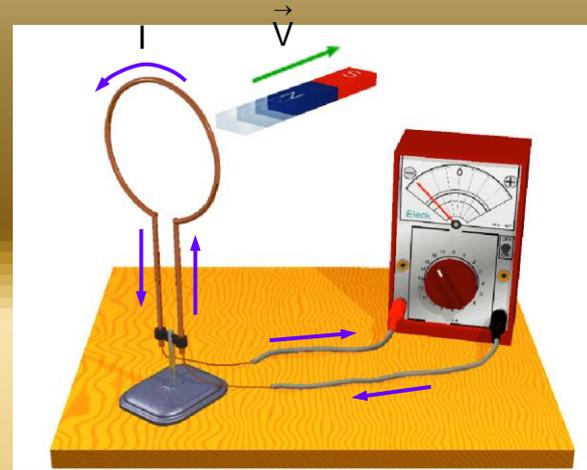
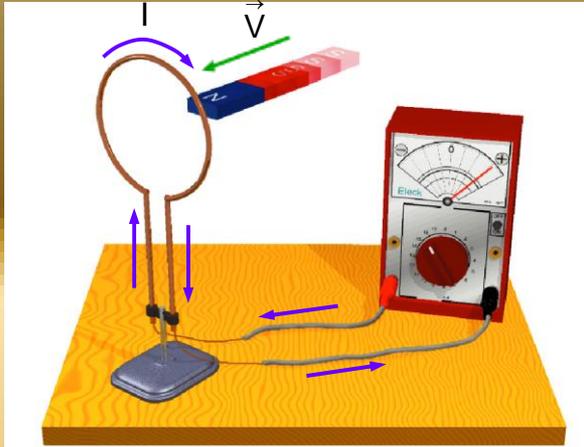


- En 1831, **Faraday** comprobó que en un circuito, el galvanómetro indicaba el paso de la corriente cuando se abría el circuito (circuito A)

- En los circuitos B y C sin contacto eléctrico, el movimiento del circuito B **genera una corriente eléctrica inducida** en el circuito C. El mismo efecto se produce si en lugar de una bobina se utiliza un imán en movimiento

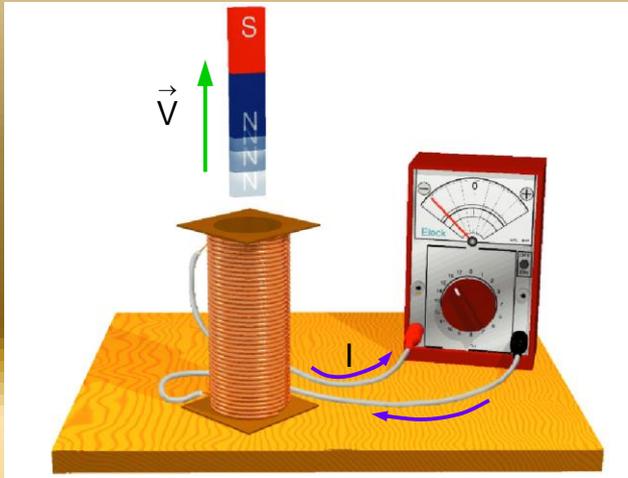


# LA INDUCCIÓN MAGNÉTICA

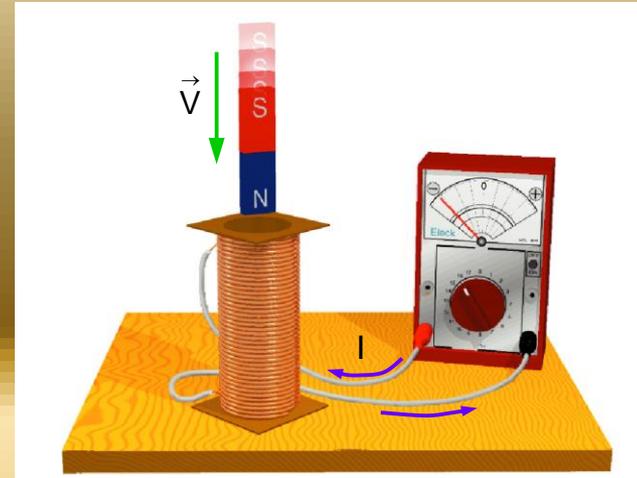


- Michael Faraday demostró mediante un experimento, que se podía generar una corriente eléctrica inducida a partir de un campo magnético
- Al acercar el imán a una espira conductora que no está conectada a ninguna fuente de alimentación eléctrica, el galvanómetro detectaba el paso de corriente mientras el imán estuviera en movimiento
- El sentido de la corriente al acercar el imán es opuesto al que tiene cuando se aleja
- Si se mantiene fijo el imán y se mueve la espira, el resultado es el mismo

Aparece una corriente inducida mientras haya movimiento relativo entre la espira y el imán



Al sacar el imán se produce una corriente inducida

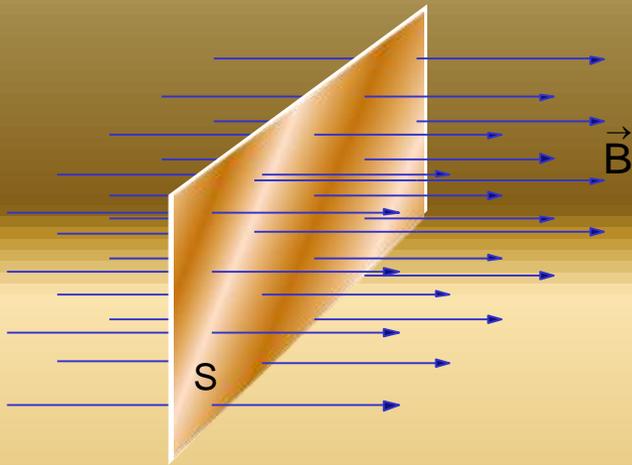


Al introducir el imán se produce la misma corriente inducida pero de sentido contrario

- Esto significa que se ha producido en el circuito una fuerza electromotriz que ha dado lugar a la corriente. Este fenómeno se denomina **inducción electromagnética**

**A partir de campos magnéticos es posible inducir en un circuito una fuerza electromotriz capaz de generar corriente eléctrica sin establecer conexiones con ninguna fuente de alimentación**

# FLUJO MAGNÉTICO A TRAVÉS DE UNA SUPERFICIE PLANA



Placa perpendicular al campo magnético

El producto  $B \cdot S$  se denomina **flujo magnético** y representa el número de líneas que atraviesan la superficie

$$\phi = B \cdot S$$

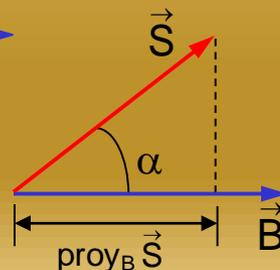
Si forma un ángulo con el campo magnético

Para hallar el flujo se proyecta la superficie según la dirección del campo

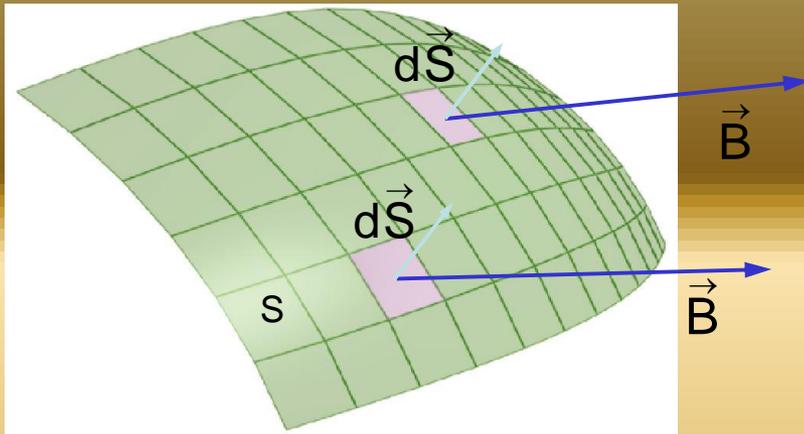
$$\phi = B \cdot (S \cos \alpha) = \vec{B} \cdot \vec{S} \Rightarrow \phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$$

La unidad de flujo en el S.I. es el **weber (wb)**, que se define como el flujo magnético que atraviesa una superficie de  $1 \text{ m}^2$  situada perpendicularmente a un campo de  $1 \text{ T}$

Superficie plana formando un ángulo con la dirección de  $\vec{B}$



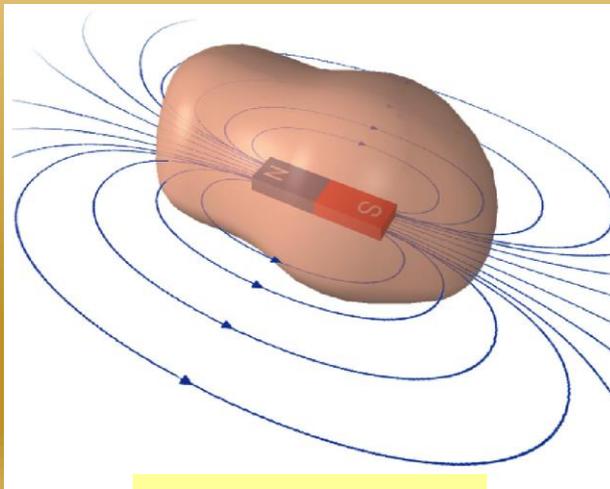
# FLUJO MAGNÉTICO A TRAVÉS DE UNA SUPERFICIE CUALQUIERA



- El flujo elemental  $d\phi$  para cada elemento de superficie  $d\vec{S}$  será  $d\phi = \vec{B} \cdot d\vec{S}$

- El flujo a través de toda la superficie es:

$$\phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$



Líneas de inducción

- En las superficies cerradas, la imposibilidad de obtener un polo magnético aislado implica que las líneas de inducción magnéticas se cierran sobre sí mismas
- Cada línea de inducción atraviesa un número par de veces la superficie cerrada, siendo el flujo total nulo

# LEY DE FARADAY - HENRY

- La fuerza electromotriz  $\mathcal{E}$  inducida en un circuito es igual a la **variación** del flujo magnético  $\phi$  que lo atraviesa por unidad de tiempo:

$$\mathcal{E} = \frac{d\phi}{dt}$$

- En el **caso de una espira**, al acercar o alejar el imán, la variación del flujo magnético aumentaba o disminuía porque así lo hacía el campo magnético
- Cuando se mantienen fijos el imán y la espira, si esta **se deforma**, el flujo a través de ella varía al modificar su superficie, aunque el campo permanezca constante
- La corriente inducida es mayor **cuanto mayor sea la rapidez de la variación de su flujo**, es decir, cuanto más rápidamente acerquemos o alejemos el imán a la espira, o cuanto más rápida sea su deformación

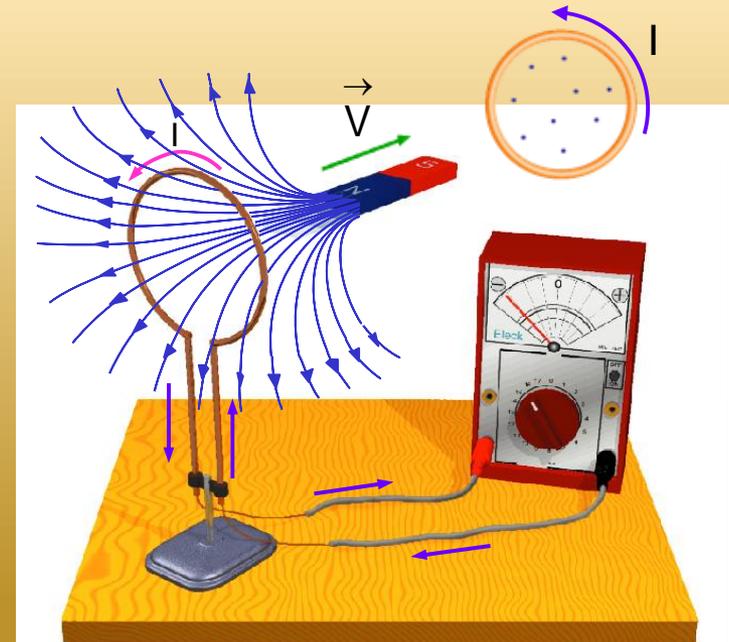
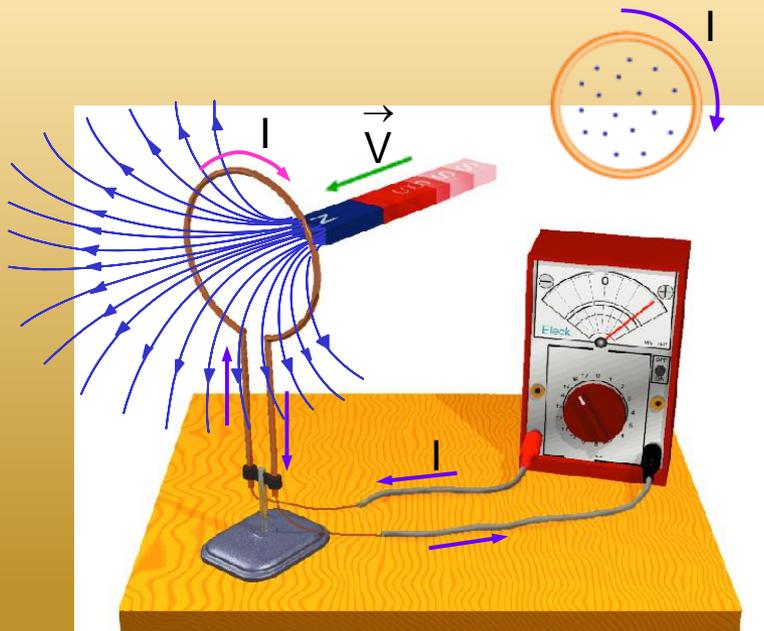
**La ley de Faraday-Henry explica el valor de la fuerza electromotriz inducida, pero no su sentido, que investigado por Lenz**

# LEY DE LENZ

- El sentido de la corriente inducida se opone a la variación del flujo que la produce

$$\mathcal{E} = - \frac{d\phi}{dt}$$

- Al acercar el imán a la espira, aumenta el campo magnético que la atraviesa, y el flujo



- La corriente inducida circula en el sentido en el que se genera un campo magnético por la espira, cuyo flujo tiende a contrarrestar el del campo magnético del imán

# GENERACIÓN DE CORRIENTE ELÉCTRICA CON GRANDES IMANES FIJOS Y MOVIENDO EL CIRCUITO

Si vamos sacando la espira el flujo disminuye, como se trata de un flujo entrante, la corriente inducida en la espira irá en el sentido de las agujas del reloj para generar otro flujo entrante que compense la disminución.

Llamamos  $x$  al espacio recorrido por la espira dentro del campo, es por lo tanto la porción de espira dentro del campo en cada momento.

$L$  es la longitud de cada lado de la espira y vectorialmente va

en el sentido de la corriente.  $\vec{L}$

Como ya sabemos la fuerza que sufre un cable eléctrico sumergido en un campo magnético es:  $\vec{F} = I.(\vec{L} \times \vec{B})$

como el  $\sin 90^\circ = 1$  queda.  $F = I.L.B$

La superficie de espira sumergida en el campo va cambiando a medida que la movemos pero sería:  $S = L.x$

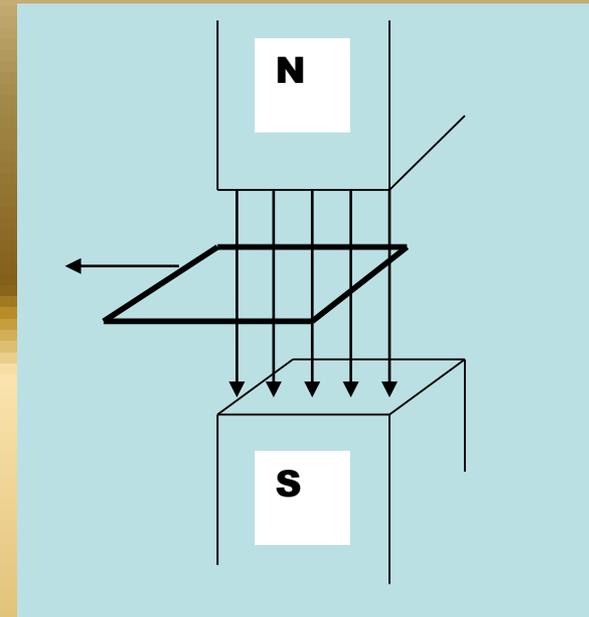
Empleando la definición de flujo magnético:  $\phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$

como  $\cos 0^\circ = 1$  queda  $\phi = B.S = B.L.x$  y aplicando la ley de Faraday:

$$\varepsilon = \frac{d\phi}{dt} = \frac{dB.L.x}{dt}$$

como tanto el campo como la longitud de la espira son constantes:

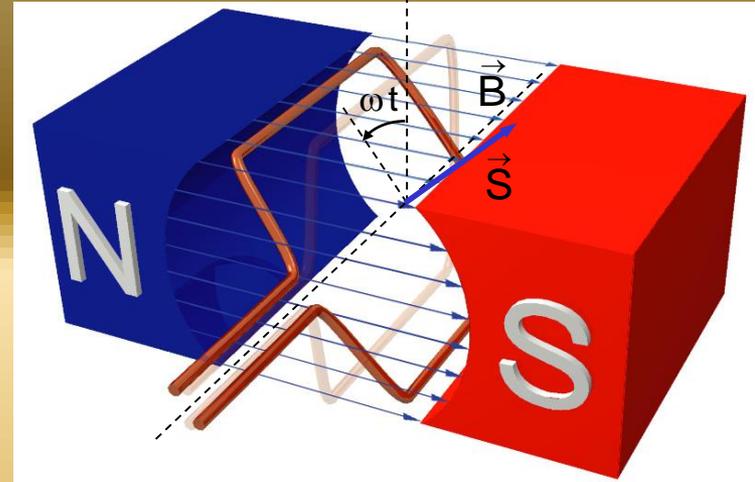
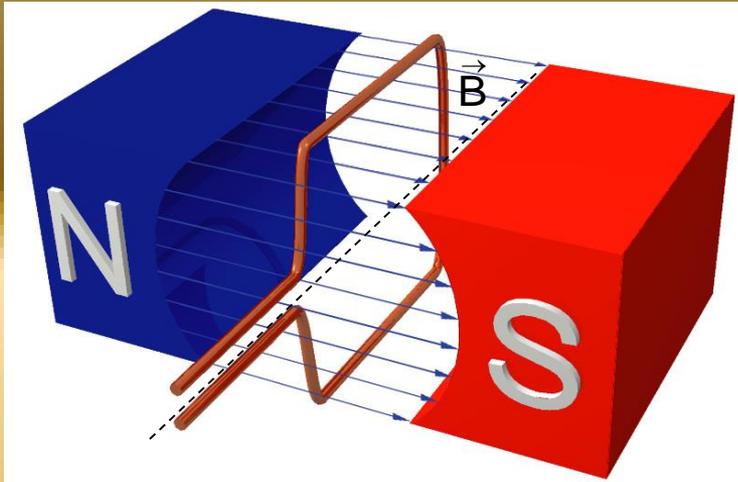
$$\varepsilon = B.L.\frac{dx}{dt} = B.L.v$$



La fuerza electromotriz que hace circular la corriente por la espira es directamente proporcional al campo magnético, a la longitud de la espira y a la velocidad con que esta se mueve dentro del campo.

$$\varepsilon = B.L.v$$

# PRODUCCIÓN DE CORRIENTE ALTERNA



• La espira, situada inicialmente perpendicular al campo, gira con velocidad  $\omega$  constante

• El flujo que la atraviesa es:  $\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \alpha$

• Por ser un MCU:  $\alpha = \omega t$

$$\left. \begin{array}{l} \phi = BS \cos \alpha \\ \alpha = \omega t \end{array} \right\} \Rightarrow \phi = BS \cos \omega t$$

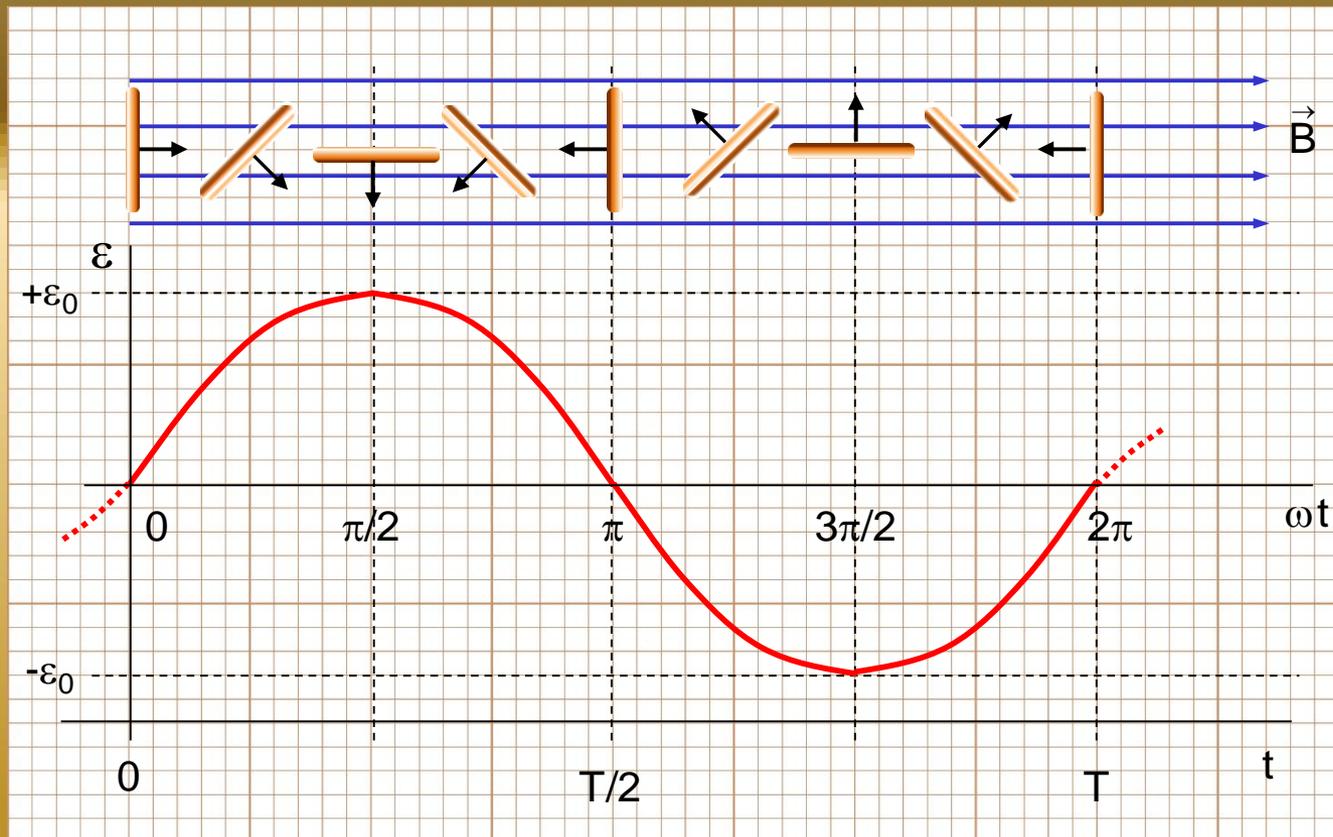
• Según Faraday-Henry y Lenz:  $\mathcal{E} = BS \omega \sin \omega t$

• Para una bobina de N espiras:  $\mathcal{E} = NBS \omega \sin \omega t$

• La f.e.m. máxima es:  $\mathcal{E}_0 = NBS \omega$

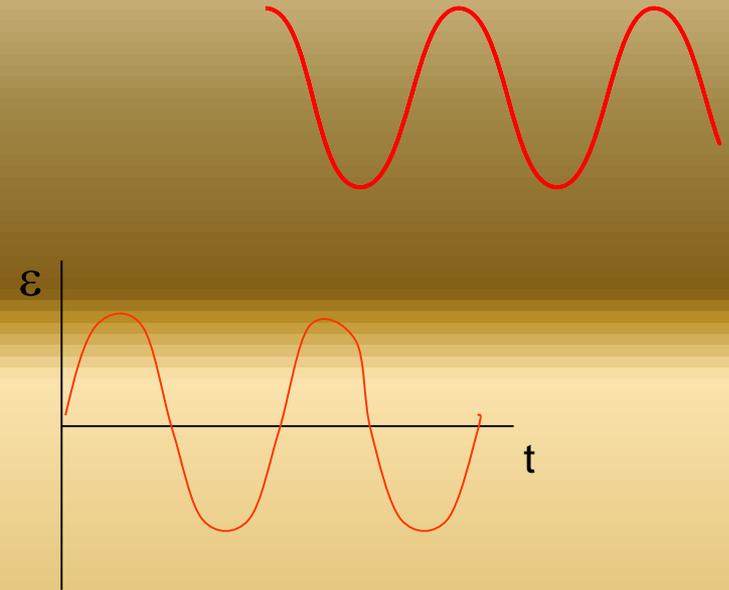
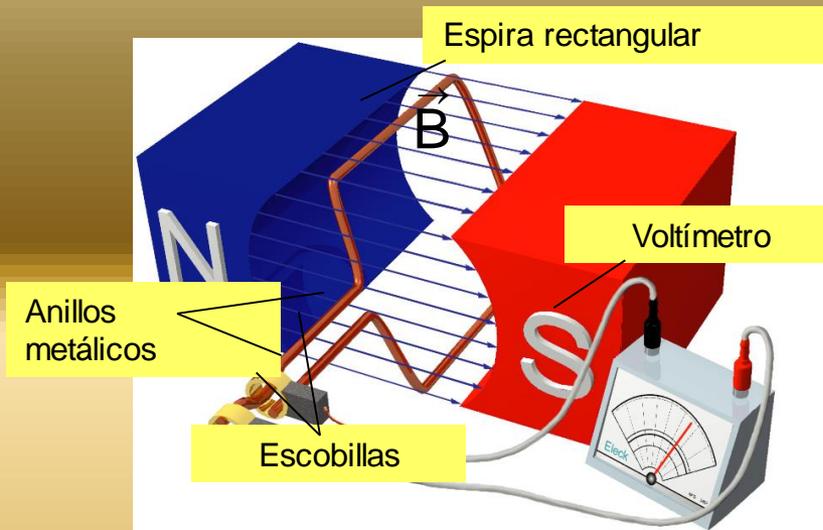
$$\left. \begin{array}{l} \mathcal{E} = BS \omega \sin \omega t \\ \mathcal{E} = NBS \omega \sin \omega t \end{array} \right\} \Rightarrow \mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t$$

# GRÁFICA DE LA FUERZA ELECTROMOTRIZ SINUSOIDAL



$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t$$

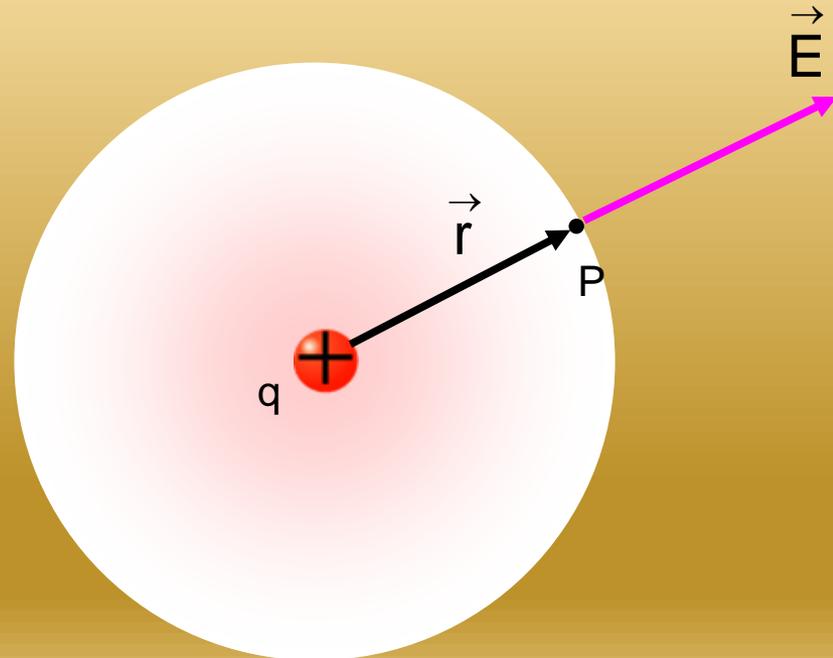
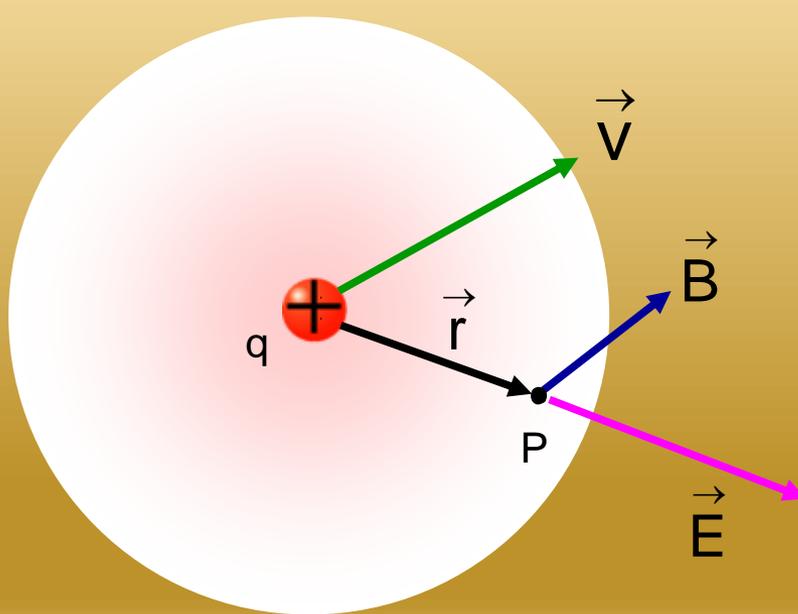
# ESQUEMA DE UN ALTERNADOR

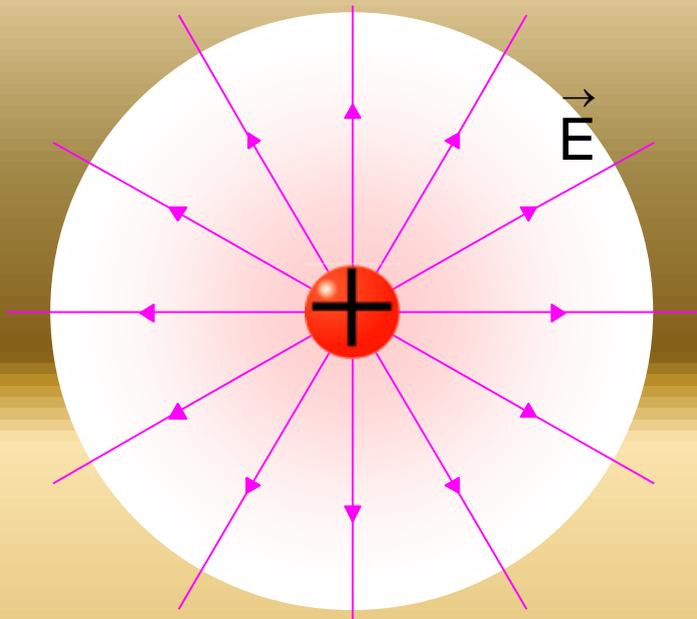


- La bobina **gira con velocidad constante** en un campo magnético uniforme creado por el imán
- Se induce así una f.e.m. sinusoidal que **varía de sentido** 2 veces cada período (corriente alterna)
- Los extremos de la espira se conectan al circuito externo mediante **escobillas**
- La energía mecánica necesaria para girar la bobina **se transforma en energía eléctrica**
- Alternadores más complejos constan de **inductor** (imán o electroimán) e **inducido** (circuito donde se produce la f.e.m.). La parte móvil es el **rotor** y la fija, el **estátor**

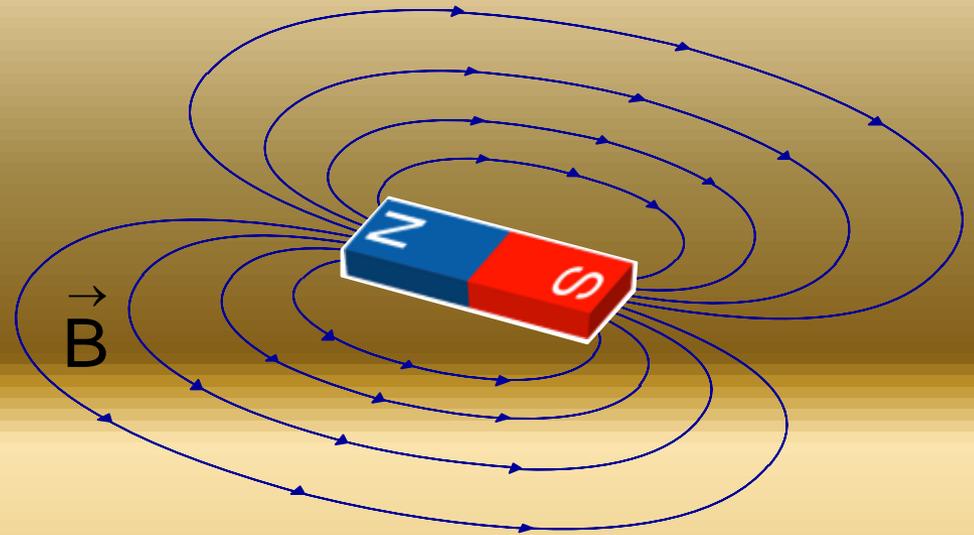
# PARECIDOS Y DIFERENCIAS ENTRE CAMPOS ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO

- Ambos campos **tienen su origen en las cargas eléctricas**
- Una carga eléctrica en movimiento produce **un campo eléctrico y un campo magnético**
- Una carga en reposo genera **solo un campo eléctrico**





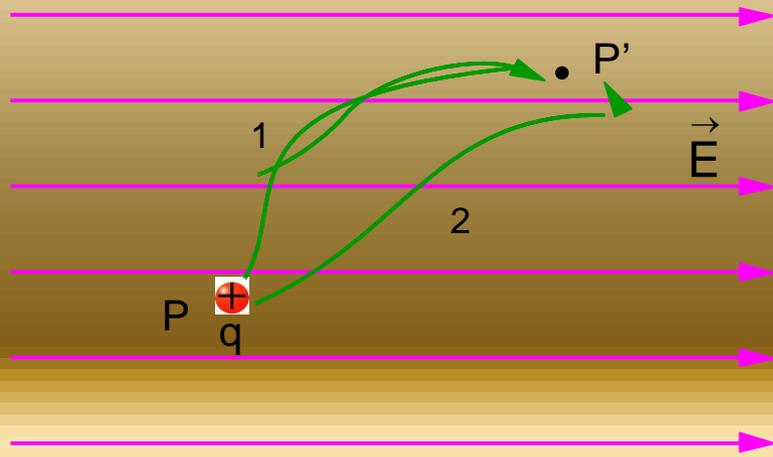
Líneas de campo eléctrico



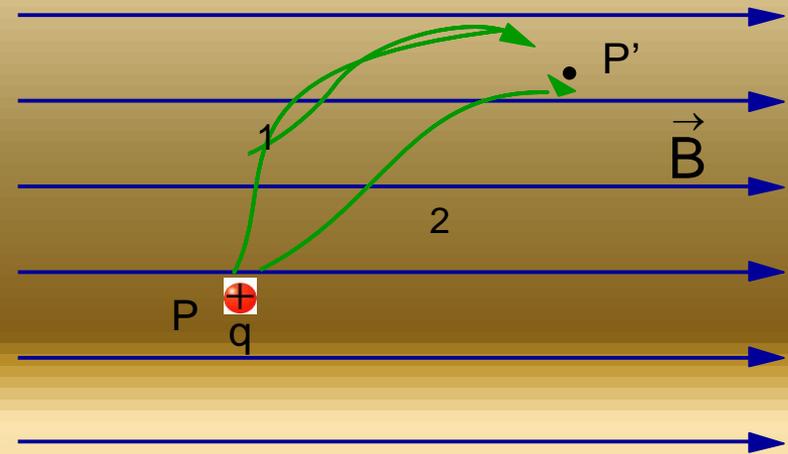
Líneas de campo magnético

- Las líneas de fuerza del campo eléctrico son líneas abiertas: comienzan o terminan en una carga, pero pueden extenderse al infinito
- Las líneas de fuerza del campo magnético son líneas cerradas: nacen en un polo magnético y finalizan en el otro de distinta polaridad
- Pueden encontrarse **cargas eléctricas aisladas**, pero los polos magnéticos se presentan siempre por parejas. **No hay polos magnéticos aislados**

La constante eléctrica y la magnética dependen del medio

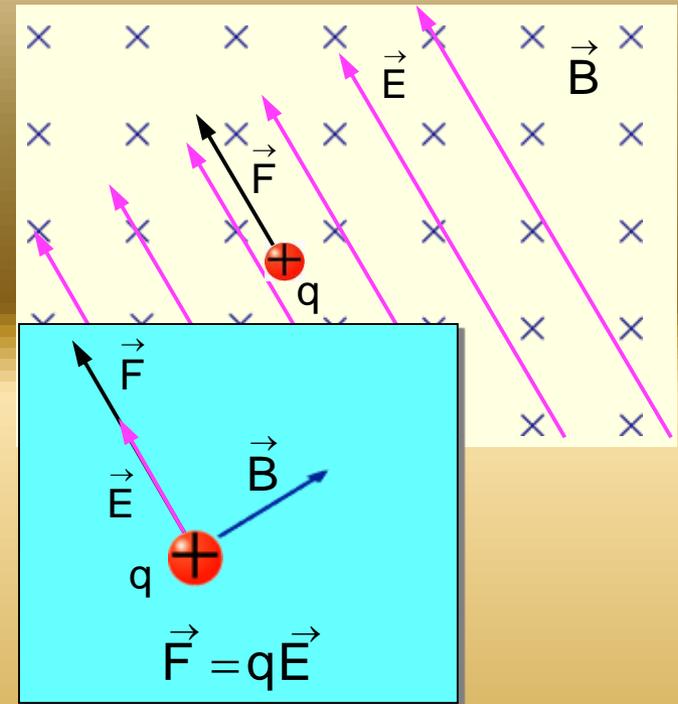
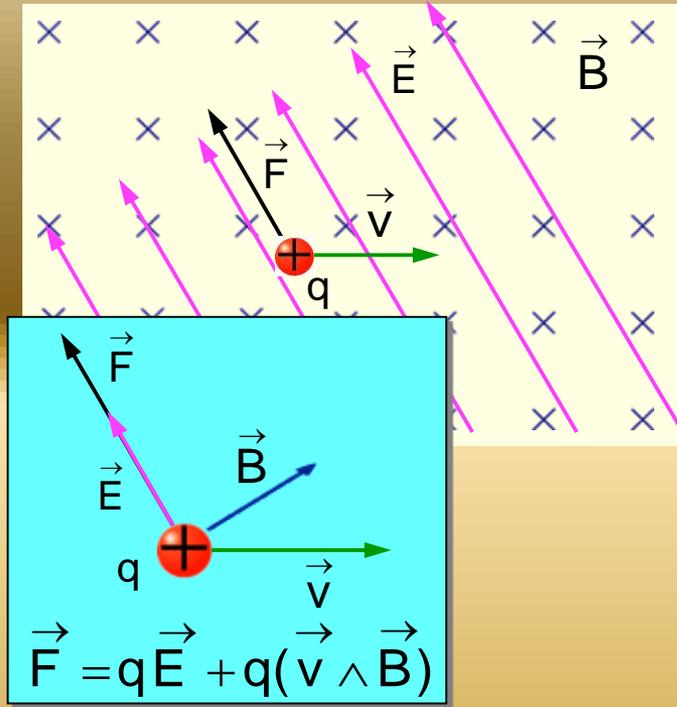


$$T_1 = T_2$$



$$T_1 \neq T_2$$

- El campo eléctrico es un campo conservativo: el trabajo necesario para mover una carga entre dos puntos del campo no depende de la trayectoria seguida. Es posible definir un potencial eléctrico escalar para describir el campo
- El campo magnético es un campo no conservativo: el trabajo necesario para mover una carga entre dos puntos del campo depende de la trayectoria seguida. No es posible definir un potencial escalar para describir el campo



- El campo eléctrico y el campo magnético ejercen fuerzas sobre cargas en movimiento según la expresión de la fuerza de Lorentz:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \wedge \vec{B})$$

- El campo eléctrico también ejerce fuerzas sobre cargas en reposo

# LA SÍNTESIS ELECTROMAGNÉTICA

- Maxwell calculó la velocidad  $c$  de propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío que resultaba al aplicar el conjunto de sus ecuaciones, siendo su valor:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

siendo:

$\epsilon_0$  : la constante dieléctrica del vacío ( $\epsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$ )

$\mu_0$  : la permitividad magnética del vacío ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ )

- Sustituyendo estas constantes por sus valores numéricos  $\Rightarrow c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

- La velocidad de las ondas electromagnéticas resultaba ser igual a la velocidad de la luz, por lo que Maxwell supuso que **la luz era una onda electromagnética** y Hertz lo confirmó experimentalmente

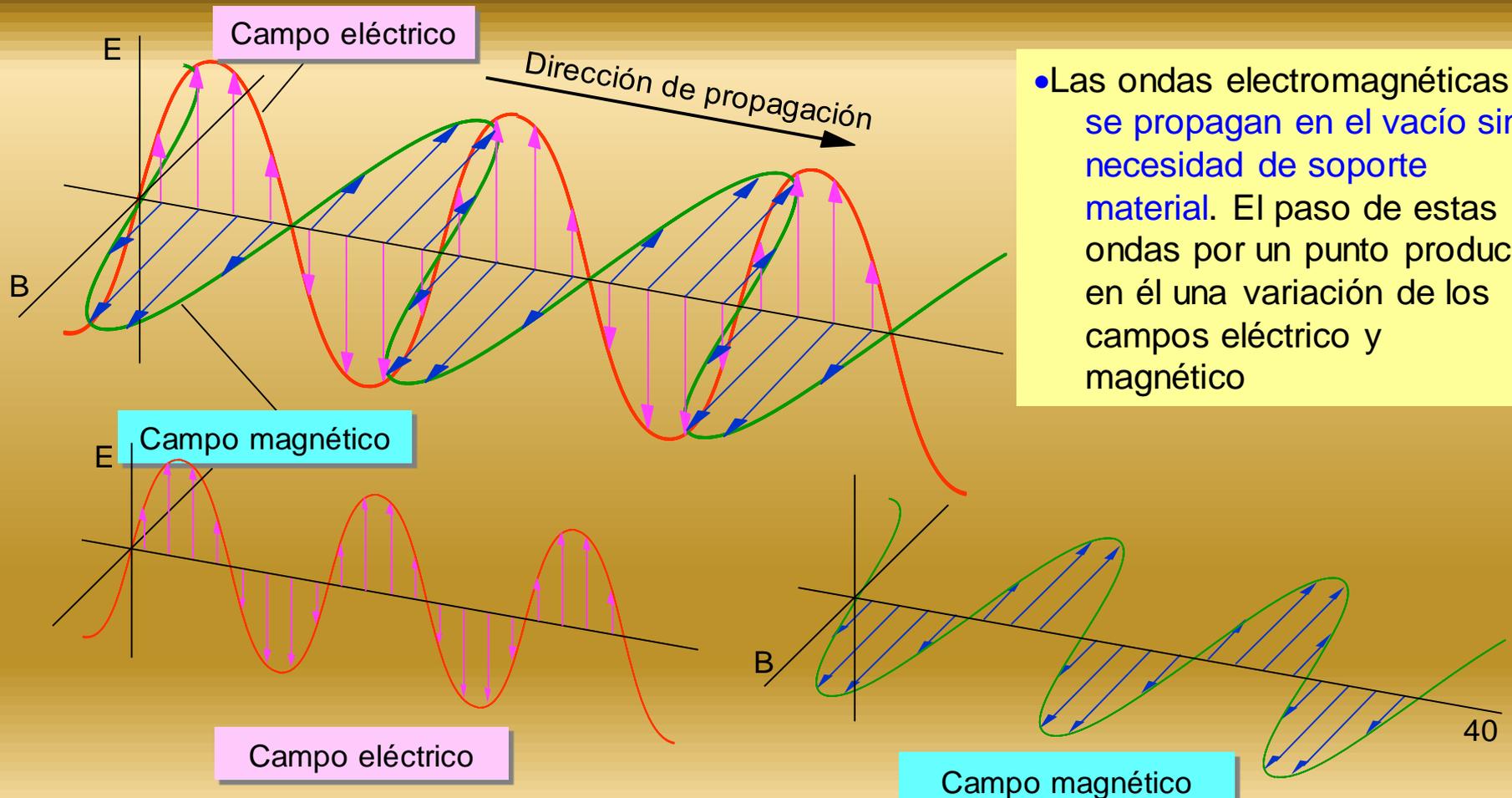
- **La síntesis electromagnética unifica** en una sola teoría coherente **tres disciplinas** consideradas independientes hasta principios del siglo XIX: **la electricidad, el magnetismo y la óptica**

- Las ondas electromagnéticas **corresponden a la propagación en el espacio de campos eléctricos y magnéticos variables**

- Maxwell dedujo una ecuación de ondas para los vectores  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  y mostró que **la propagación de campos eléctricos y magnéticos tendría todas las características propias de una onda**: reflexión, refracción, difracción e interferencias

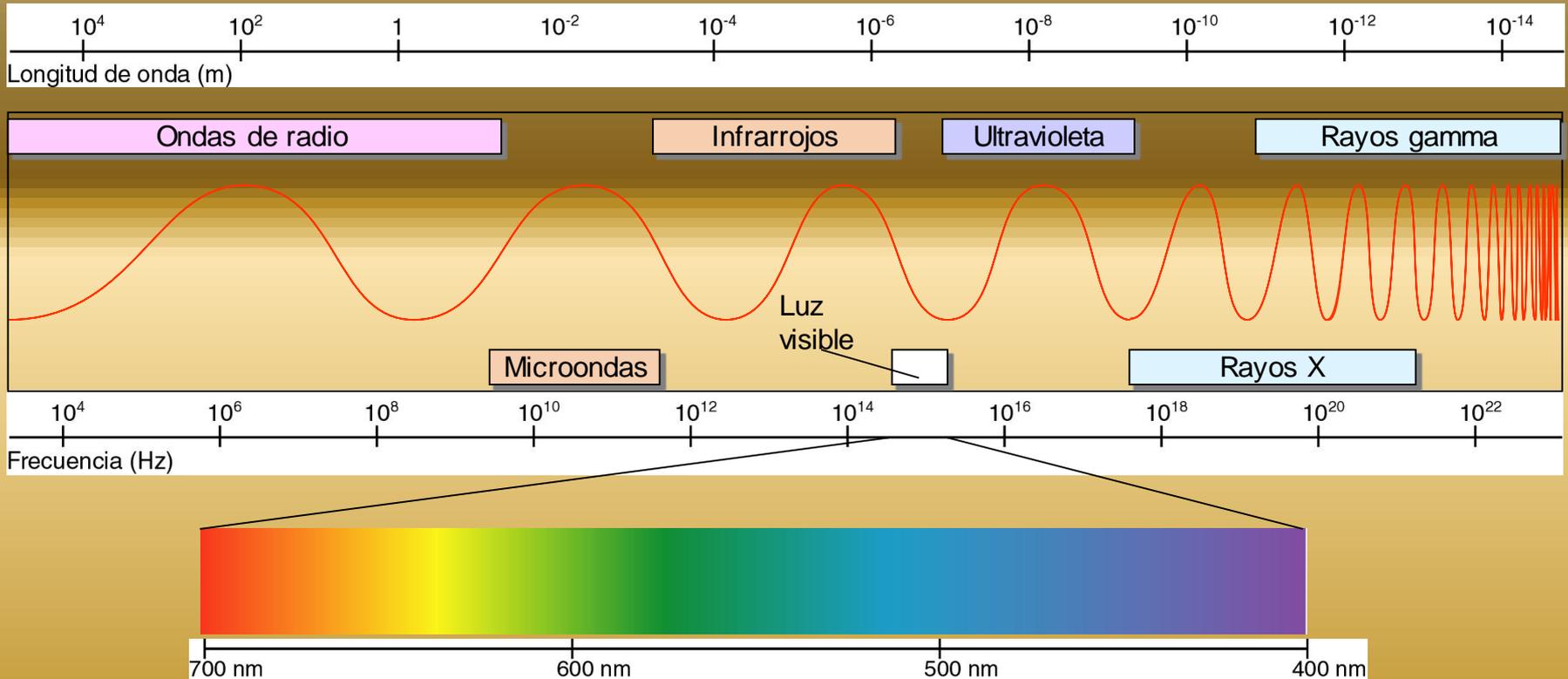
- En cada punto del espacio, los vectores  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  son perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación (son ondas transversales)

- La teoría electromagnética de Maxwell había llevado a la predicción de las ondas electromagnéticas; el propio Maxwell señaló que para comprobar la teoría se precisaba la producción de estas ondas



- Las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío sin necesidad de soporte material. El paso de estas ondas por un punto produce en él una variación de los campos eléctrico y magnético

# EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



- Las ondas electromagnéticas **difieren entre sí en su frecuencia y en su longitud de onda**, pero todas se propagan en el vacío a la **misma velocidad**
- Las longitudes de onda cubren una amplia gama de valores que se denomina **espectro electromagnético**