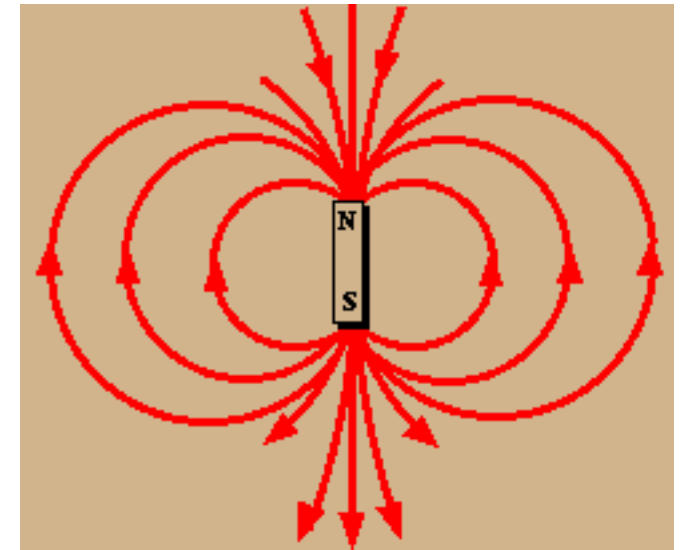
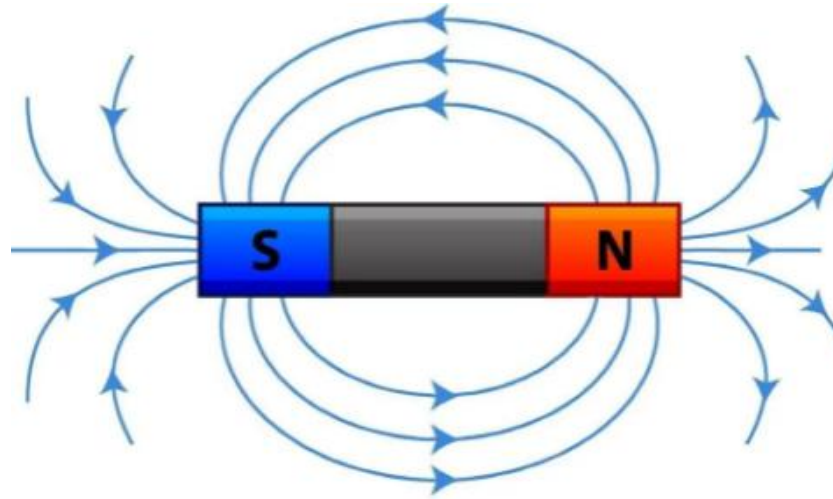
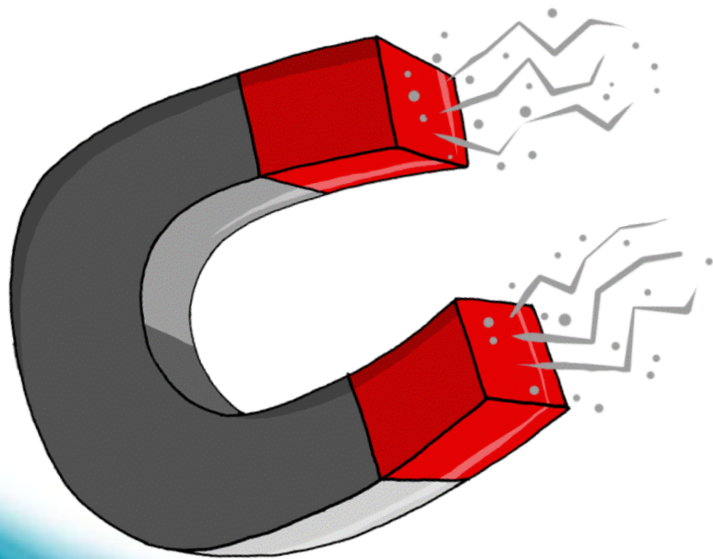




# CAMPO MAGNÉTICO

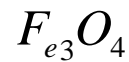


**Docente: Prof. Dionel Pérez. Sección: 1**

**San Cristóbal, Agosto de 2021.**

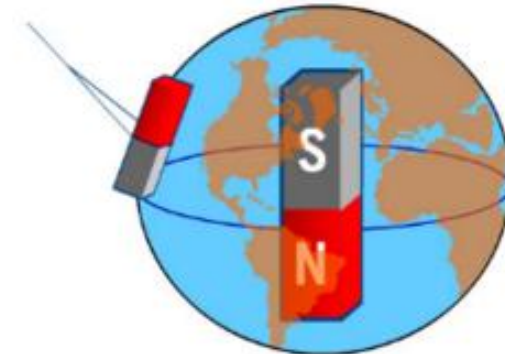
# INTERACCIÓN MÁGNETICA

Christian Oersted (1777-1851)



- Experimentos demostraron que todo imán tiene 2 polos.
- Los polos son llamados así por la forma en que un imán (como la brújula) se comporta en presencia del campo magnético de la tierra.
- En 1819 Christian Oersted demostró la evidencia relación entre fenómenos eléctricos y magnéticos.

- Los primeros fenómenos magnéticos observados fueron los relacionados con los imanes permanentes.
- Los imanes permanentes o naturales son trozos de mineral de hierro (magnetita) encontrados en la antigua ciudad de Magnesia.
- Se puede definir vectorialmente el campo magnético  $B$  al igual que el campo eléctrico  $E$  (en términos de la fuerza ejercida sobre un objeto de prueba).



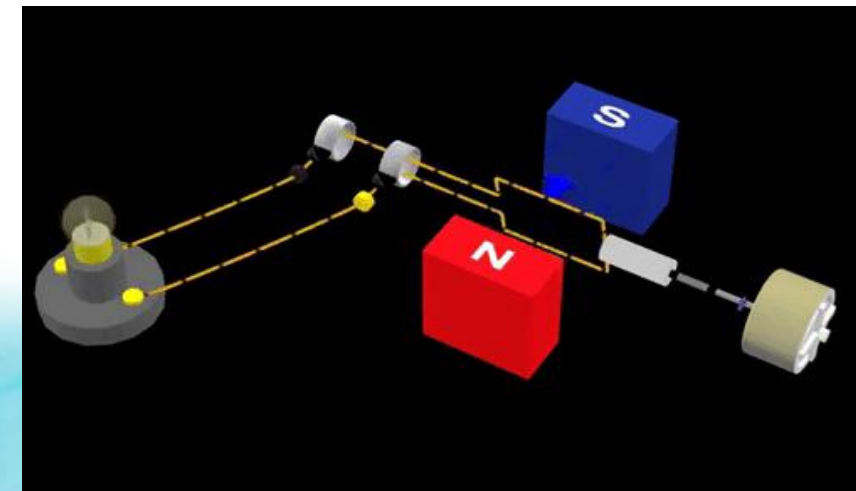
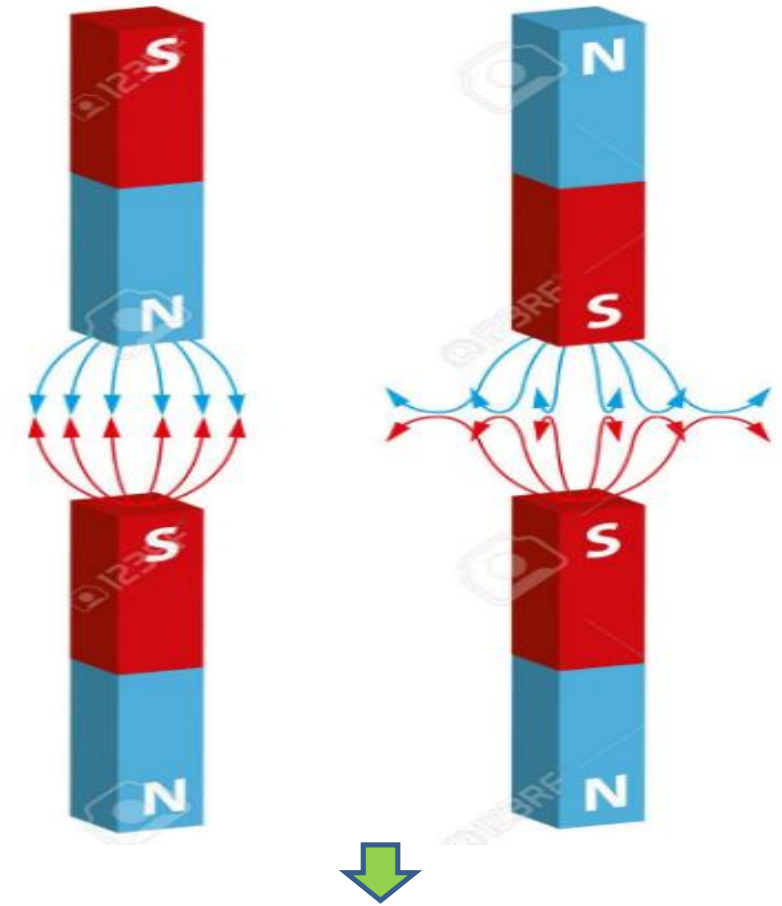
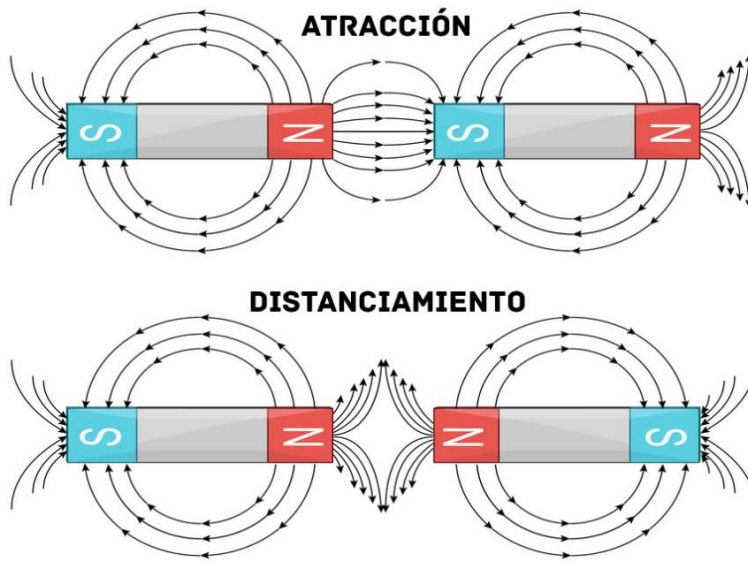


# INTERACCIÓN MÁGNETICA

- Los Imanes tienen dos extremos o polos magnéticos (Norte N y Sur S)
- Son imposibles de separar.
- Polos iguales se repelen y los distintos se atraen.
- Los Imanes (Naturales o Artificiales) se atraen y se repelen entre si y atraen objetos de hierro.
- Las Corrientes eléctricas producen efectos magnéticos.

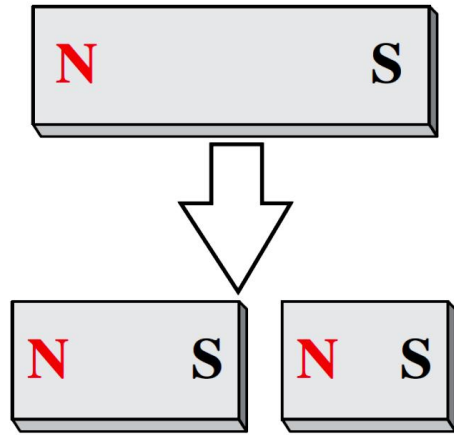
MAGNETISMO ----- PROPIEDAD (IMANES) ATRAER O REPELER ENTRE SI Y ATRAER OTROS OBJETOS.

IMANES -----SUSTANCIAS MAGNETICAS.

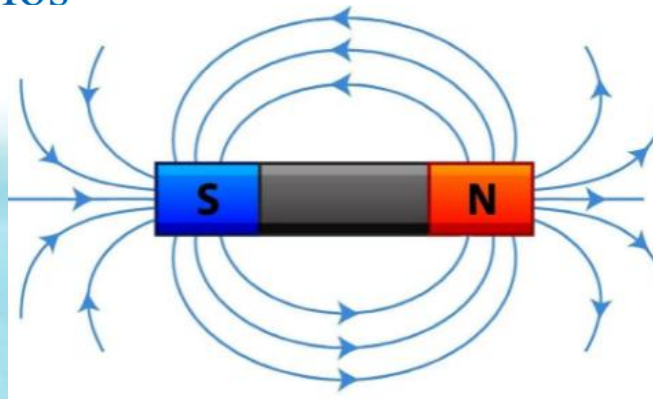


Al contrario de lo que sucede con las cargas eléctricas, los polos magnéticos siempre ocurren en pares y no es posible aislarlos.

Al romper un imán en dos ...



... se producen dos imanes, no dos polos aislados.



## Interacciones eléctricas

1. Una distribución de carga eléctrica en reposo crea un campo eléctrico  $\vec{E}$  en el espacio circundante.
2. El campo eléctrico ejerce una fuerza  $\vec{F} = q\vec{E}$  sobre cualquier otra carga  $q$  que esté presente en el campo.



## Interacciones magnéticas

1. Una carga o corriente móvil crea un campo magnético en el espacio circundante (además de su campo eléctrico).
2. El campo magnético ejerce una fuerza  $\vec{F}$  sobre cualquier otra carga o corriente en movimiento presente en el campo.

# INTERACCIÓN MÁGNETICA

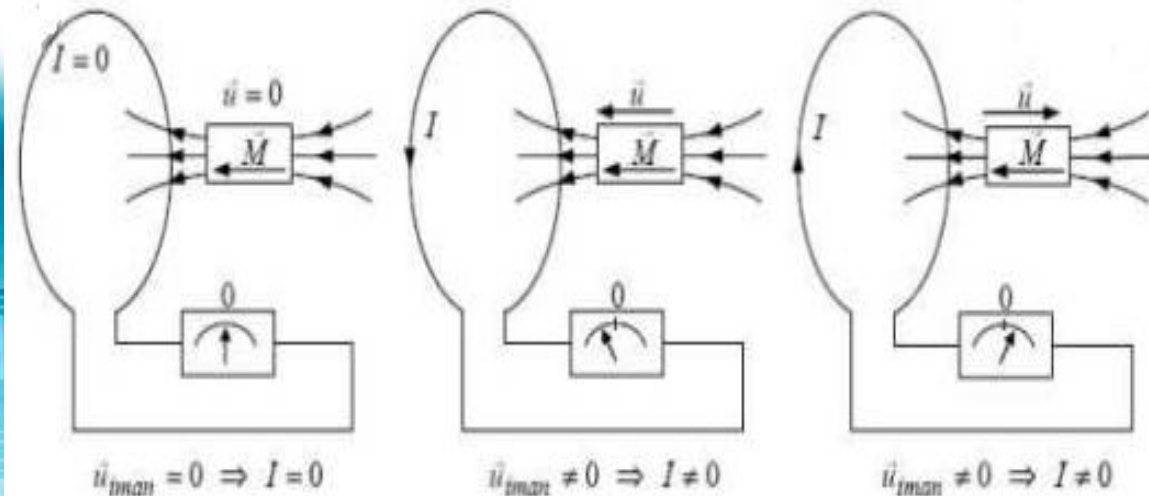
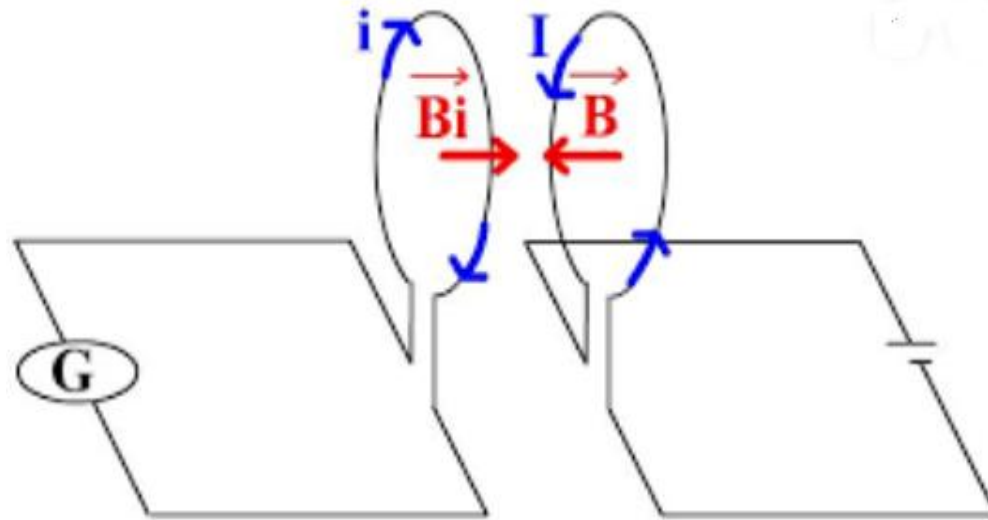
Hans Christian  
Oersted  
Físico Danés  
(1777-1851)



Michael  
Faraday Físico  
Ingles (1791-  
1867)



Joseph Henry  
Físico EEUU  
(1797-1878)



- En 1819 Hans Cristian Oersted demostró que cargas en movimiento producen efectos magnéticos
- En 1831 demostró que Los experimentos de Faraday demostraron que se induce una corriente eléctrica en una espira, y ésta se comporta como si estuviese conectada a una fem, cuando existe un movimiento relativo entre la espira y una fuente de campo magnético.
- Joseph Henry demostró que se induce una corriente en la espira cuando existe un movimiento relativo entre el imán y la espira. En particular, la aguja del galvanómetro se mueve en una determinada dirección cuando el imán se aproxima a la espira, y en la opuesta cuando se aleja.



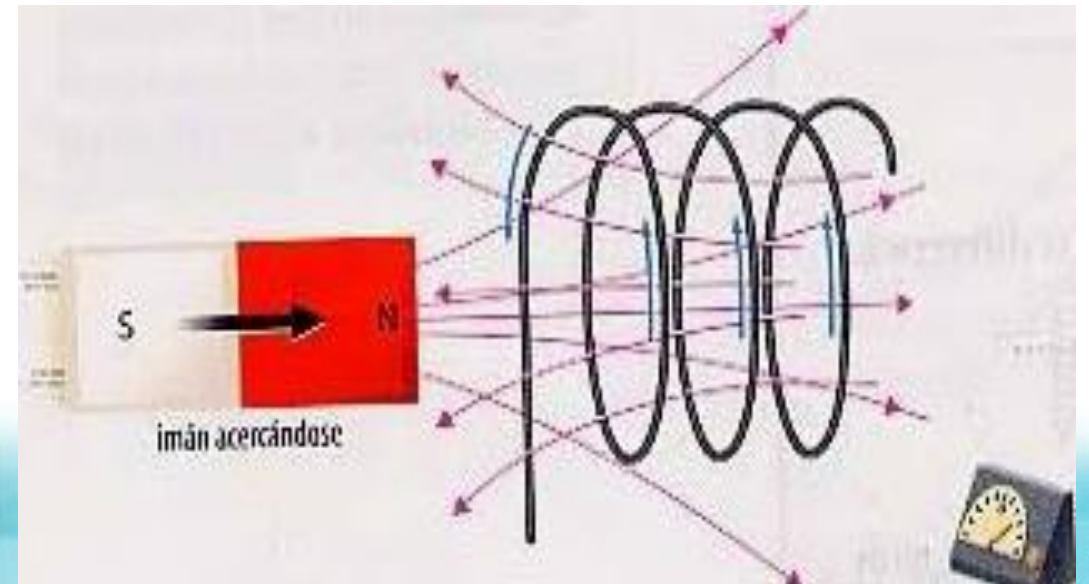
# INTERACCIÓN MÁGNETICA

*Michael Faraday* Físico Ingles (1791-1867) y *Joseph Henry* Físico EEUU (1797-1878)



- *La aparición de una corriente eléctrica en una espira genera un campo magnético  $B$ .*
- *Este campo  $B$  atraviesa el área  $A$  o superficie limitada por la espira.*
- *Generándose lo que se conoce como inducción electromagnética (principio del generador eléctrico).*

- *Durante mucho tiempo se pensó que los fenómenos eléctricos y magnéticos son independientes.*
- *Los fenómenos magnéticos proceden de fuerzas de cargas en movimiento relativo referentes al observador.*
- *Crean campos magnéticos además del campo electrostático.*

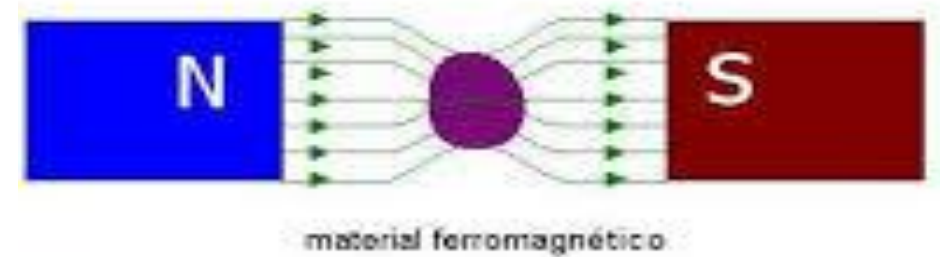
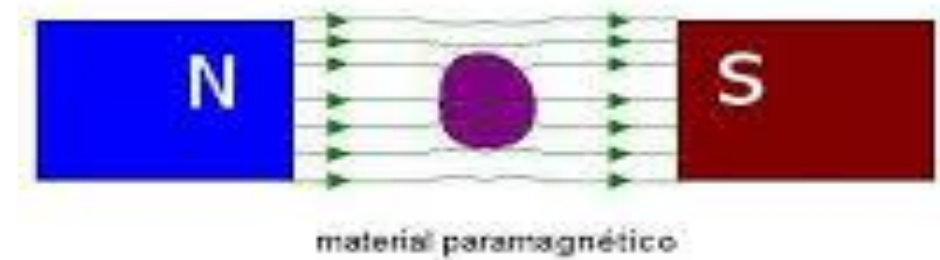


# MAGNETISMO EN LA MATERIA

- ✓ *Los materiales magnéticos son aquellos que pueden ser atraídos o repelidos por un imán y que, a su vez, pueden ser magnetizados.*
- ✓ *Podemos considerar elementos magnéticos a aquellos elementos de la tabla periódica que tienen electrones desapareados.*
- ✓ *El magnetismo es dipolar, es decir, existen dos polos magnéticos separados por una determinada distancia.*
- ✓ *Las propiedades magnéticas, son las determinadas respuestas de un material al campo magnético.*

## Clasificación:

- **Materiales Ferromagnéticos:** En los sustancias, cuerpos o materiales ferromagnéticos, la magnetización está en la misma dirección que el campo magnético externo, pero mucho más intensa que en los paramagnéticos.
- **Materiales Paramagnéticos:** En los materiales, sustancias o cuerpos (materia) paramagnéticos, la magnetización se produce en la misma dirección que el campo magnético externo y con poca fuerza.
- **Materiales Diamagnéticos:** En los cuerpos, sustancias o materiales diamagnéticos la magnetización es opuesta al campo externo.



La dirección y fuerza de esta magnetización se basa en las propiedades intrínsecas del material y se caracteriza por los términos diamagnetismo, paramagnetismo y ferromagnetismo.

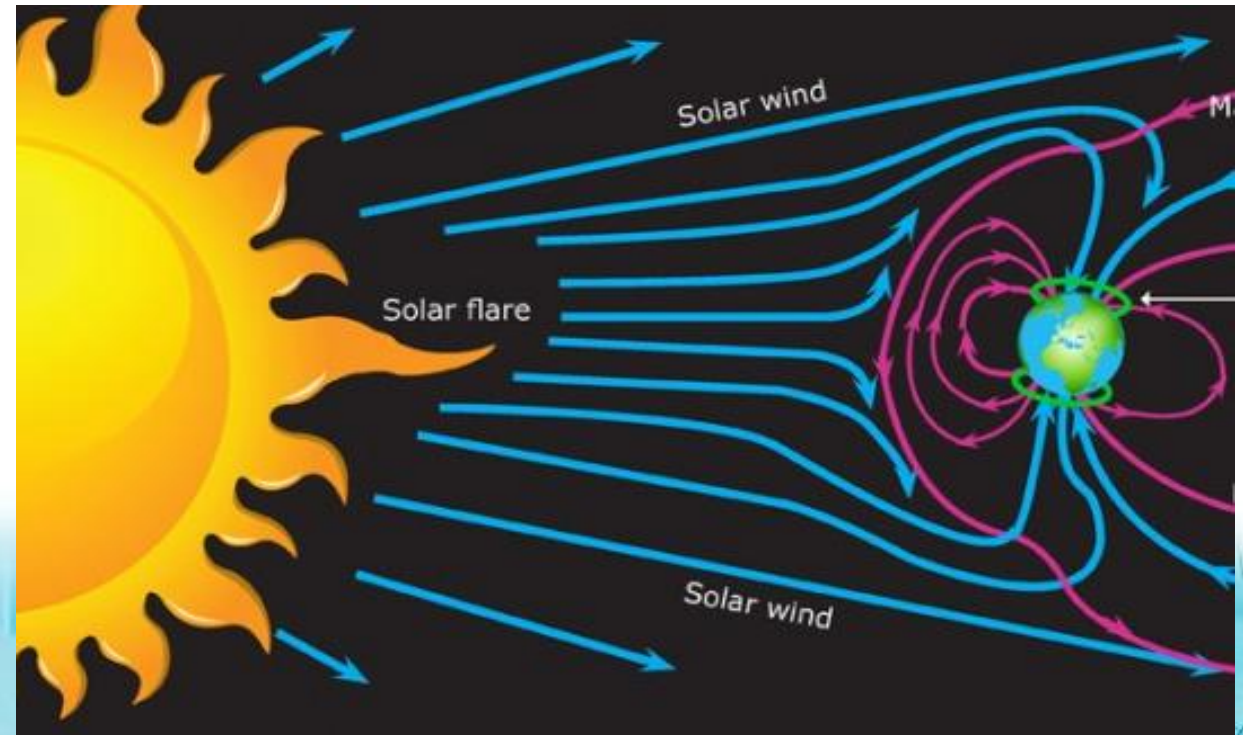
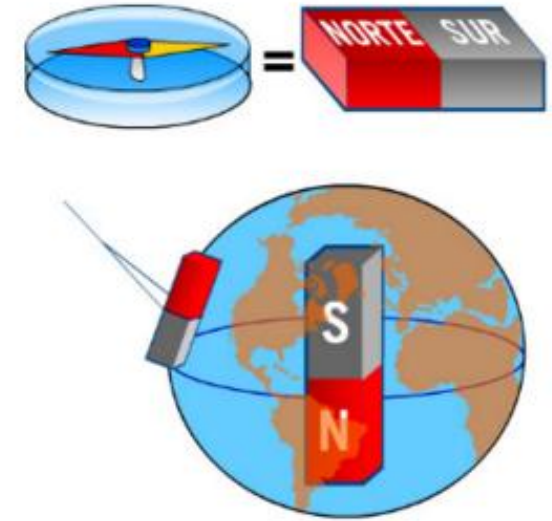
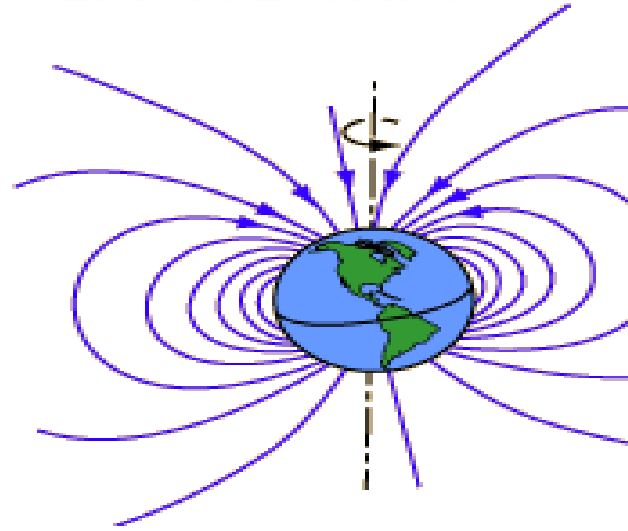


# CAMPO MAGNÉTICO EN LA TIERRA

✓ *Campo que se extiende desde el núcleo interno de la Tierra hasta el límite en el que se encuentra con el viento solar. La región por encima de la ionosfera es llamada la magnetosfera.*

## Importancia:

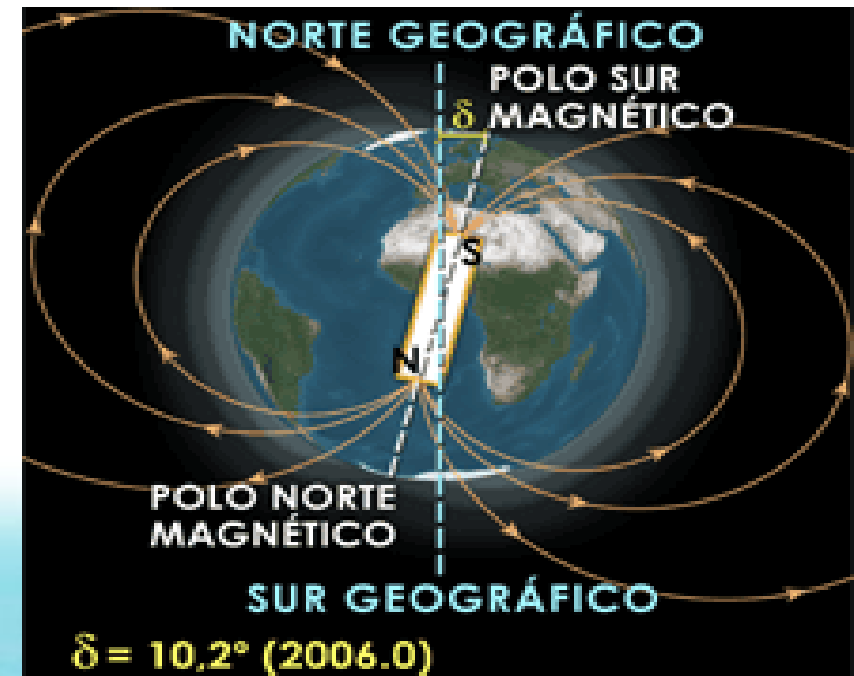
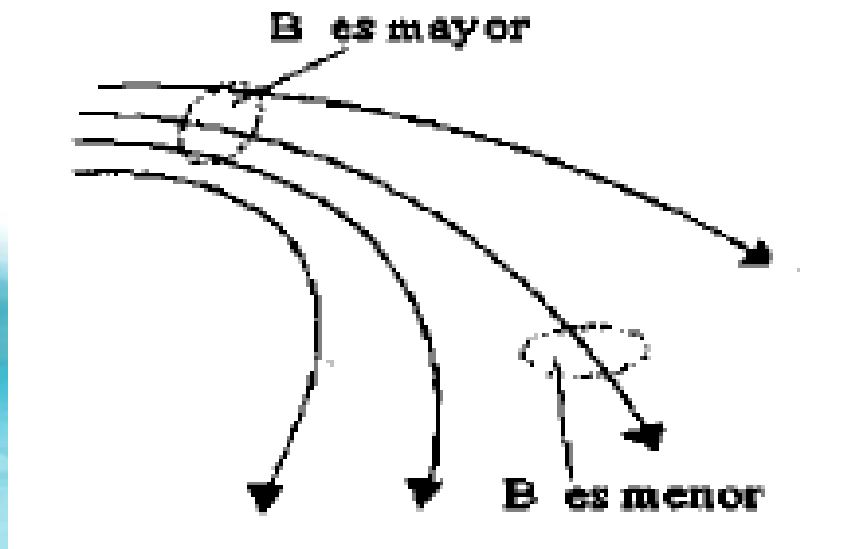
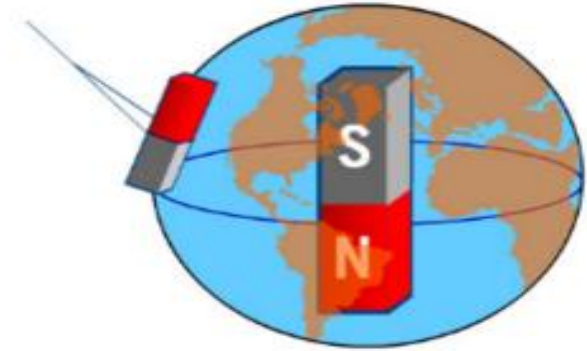
- *La Tierra está mayormente protegida del viento solar por su campo magnético, que desvía la mayor parte de las partículas cargadas.*
- *El campo también magnetiza la corteza; pudiéndose usar las anomalías para detectar menas de minerales valiosos.*
- *Los seres humanos han usado el campo magnético para orientarse desde el siglo XI A.C., y para la navegación desde el siglo XII.*

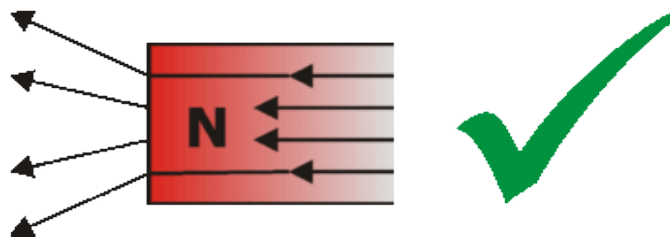
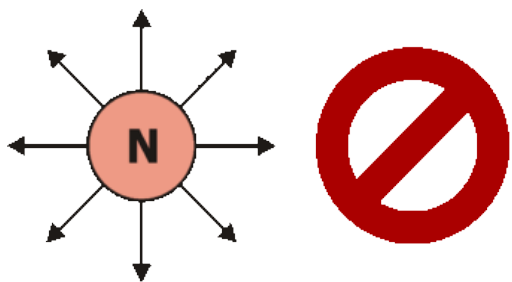




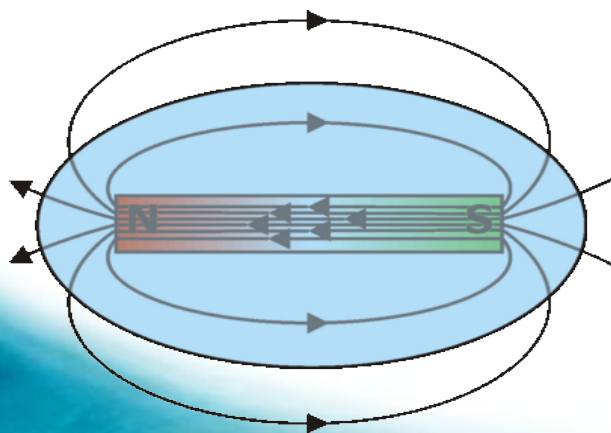
## Características:

- Una forma común de medir su dirección es usar una brújula para determinar la dirección del norte magnético.
- La intensidad de campo es máxima cerca de los polos y mínima cerca del ecuador.
- La declinación es positiva para una desviación del campo hacia el este relativa al norte geográfico.
- Los dos polos se desplazan independientemente del otro y no están situados perfectamente enfrentados en puntos opuestos del globo.

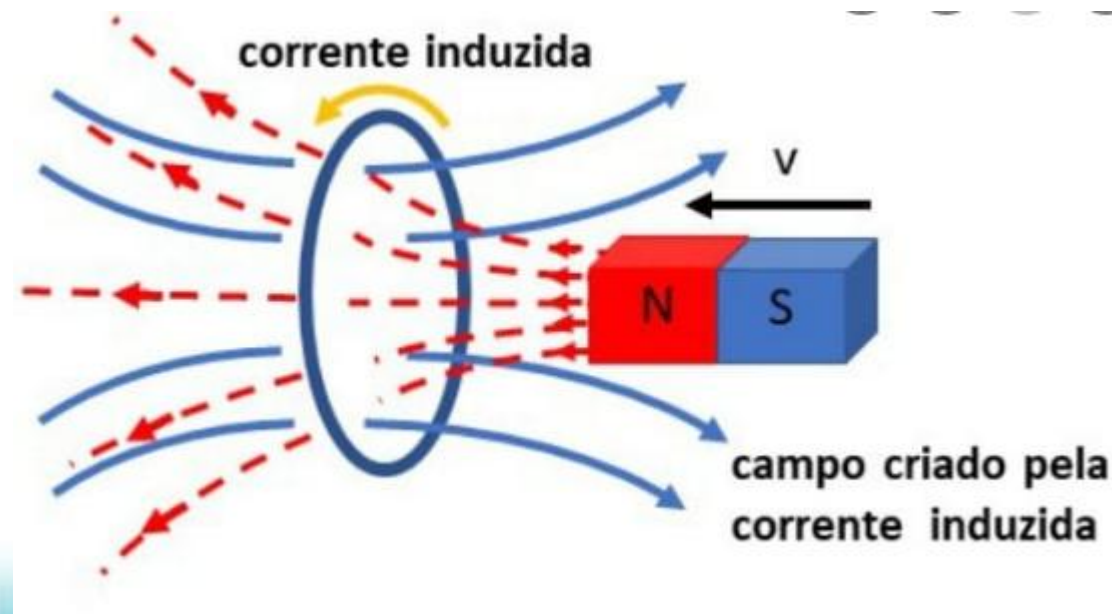




# LEY DE GAUSS DEL MAGNETISMO



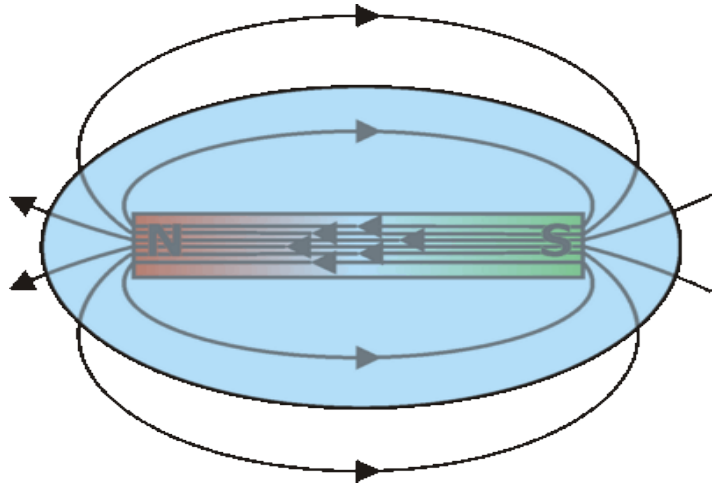
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$





# LEY DE GAUSS DEL MAGNETISMO

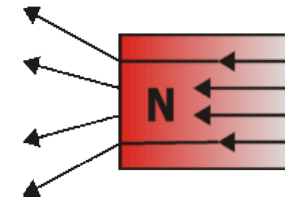
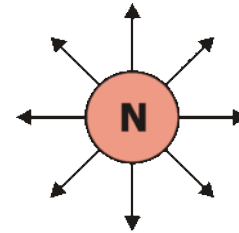
Por analogía con el caso eléctrico, se denomina esta ecuación Ley de Gauss para el Campo Magnético



✓ La ley de Gauss para el campo magnético equivale a decir que el flujo del campo magnético a través de cualquier superficie cerrada es nulo:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (\text{forma integral})$$

✓ Esto se puede interpretar como que en cada superficie cerrada entran tantas líneas de campo como salen.



✓ Ello prohíbe que las líneas de campo sean abiertas (comiencen o acaben en puntos), ya que el flujo magnético alrededor de un extremo sería no nulo.

✓ Esta ley expresa que el campo magnético carece de fuentes escalares, esto es, **que no existen los mono polos.**

De donde es inmediato que:

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (\text{forma diferencial})$$

# Ecuaciones del campo electromagnético (estacionario)

Ley	Forma integral	Forma diferencial
Ley de Gauss para el campo eléctrico	$\oint_S \vec{E} \cdot \vec{u}_N dS = \frac{q}{\epsilon_0}$	$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
Ley de Gauss para el campo magnético	$\oint_S \vec{B} \cdot \vec{u}_N dS = 0$	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$
Circulación del campo eléctrico	$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0$
Circulación del campo magnético	$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$

$$\vec{\nabla} = \hat{i} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{j} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{z} \frac{\partial}{\partial z}$$



# LEY DE GAUSS DEL MAGNETISMO



Evidencia de que todo imán tiene 2 polos asociados



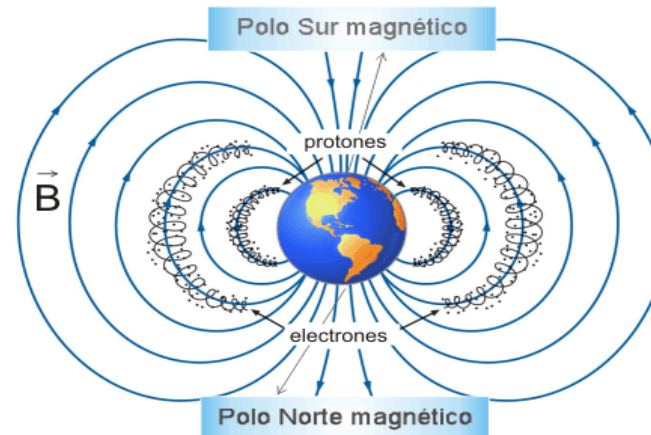
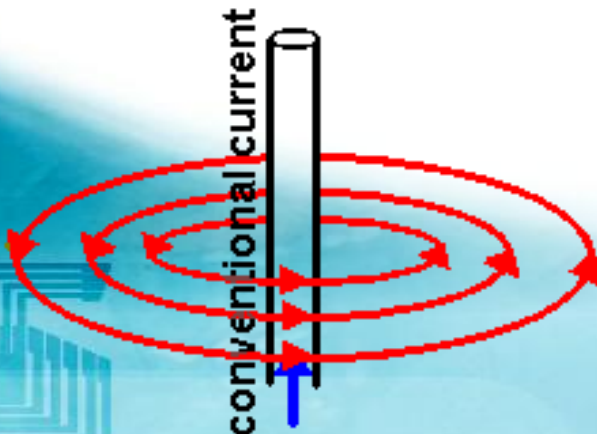
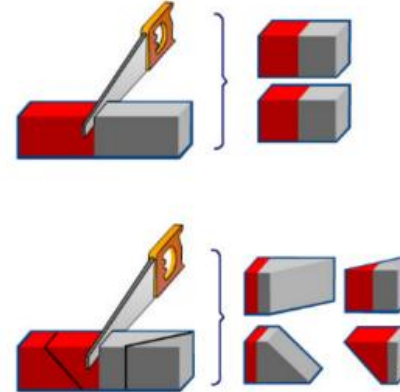
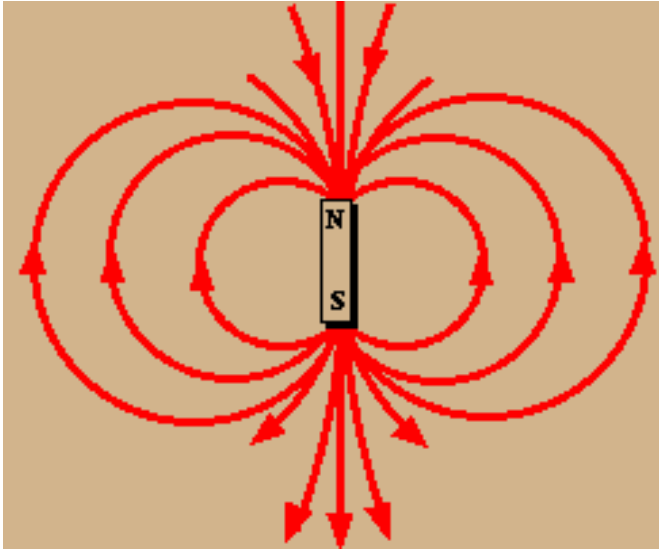
Monopolos magnéticos no existen



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$



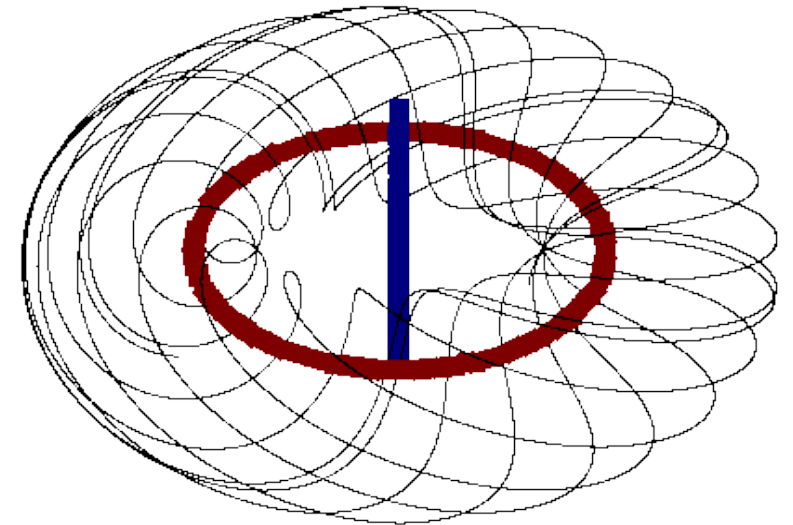
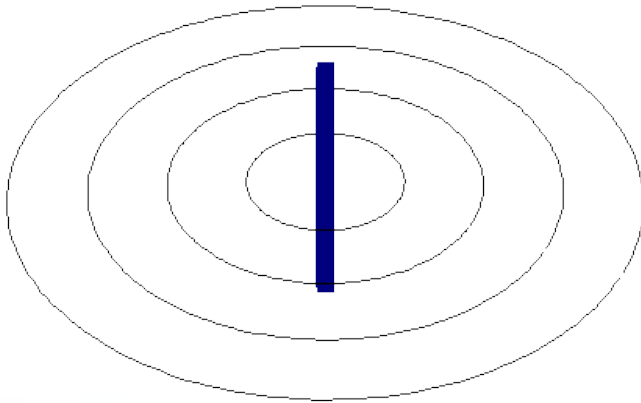
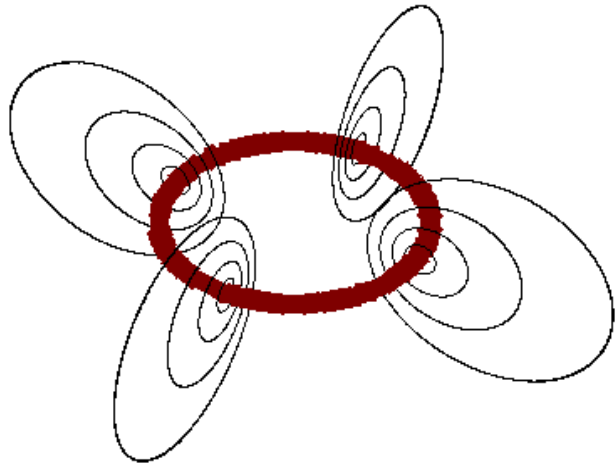
Las líneas de inducción son SIEMPRE cerradas



# ¿LAS LINEAS DE CAMPO MAGNÉTICO SON CERRADAS?

Existen 3 posibilidades:

- **Cerradas**, como las líneas del campo de una espira circular o de un hilo infinito.
- **Infinitas**. Por ejemplo, la línea de campo que va por el eje de una espira circular o de un solenoide.
- **Enrolladas sobre si misma, sin cerrarse**. Superposición de dos sistemas simples, una espira circular y un hilo infinito.





# DEFINICION Y PROPIEDADES DE UN CAMPO MAGNETICO B

**Campo magnético B**  
(Vector de inducción)

En términos de F (Fuerza) y q  
(ejercida sobre un objeto o punto)

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

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

$$B = \frac{N}{C \frac{m}{s}} = \text{Tesla (T)}$$

**Unidades:**  
Sistema CGS  
F (Dinas);  
q (statcoulomb);  
v(cm/seg); B(Gauss)

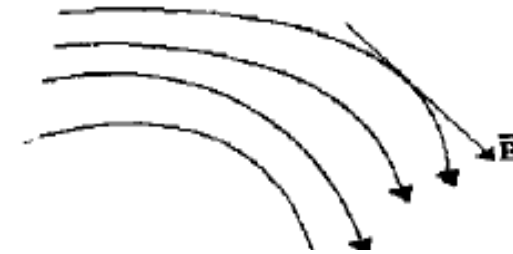
**Unidades:**  
Sistema MKS  
F (Newton);  
q (Coulomb);  
v(m/seg); B(Tesla)

$$1\text{Tesla} = 10^4 \text{Gauss}$$

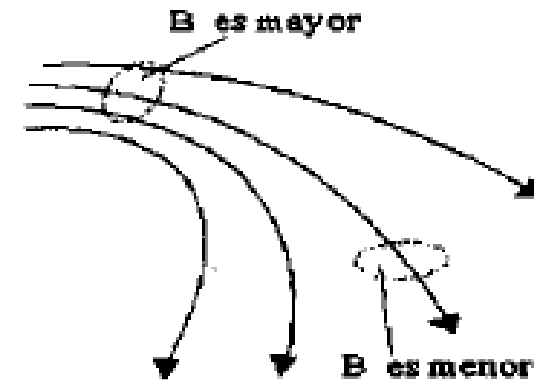


**Propiedades del Campo Magnético B**

Dirección de B es tangente en todos los puntos de las líneas de inducción

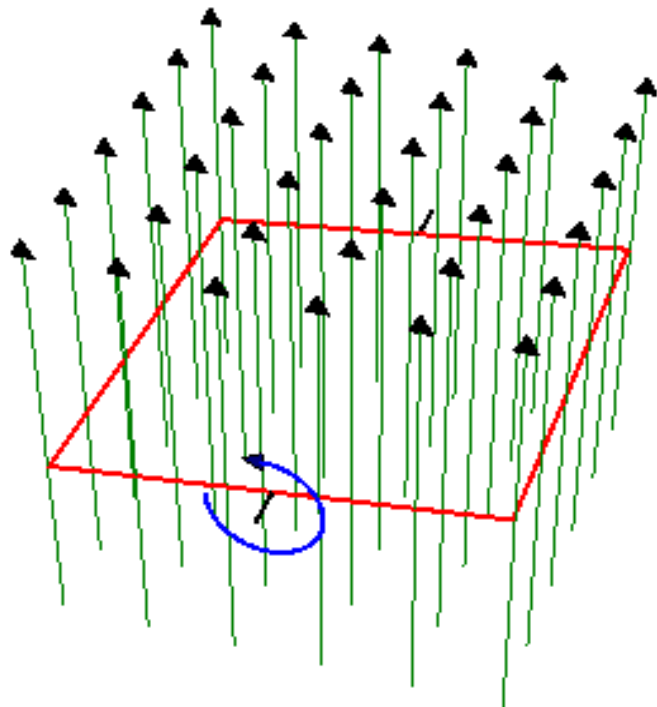


La magnitud de la inducción magnética B es proporcional al número de líneas de inducción por unidad de área de sección transversal



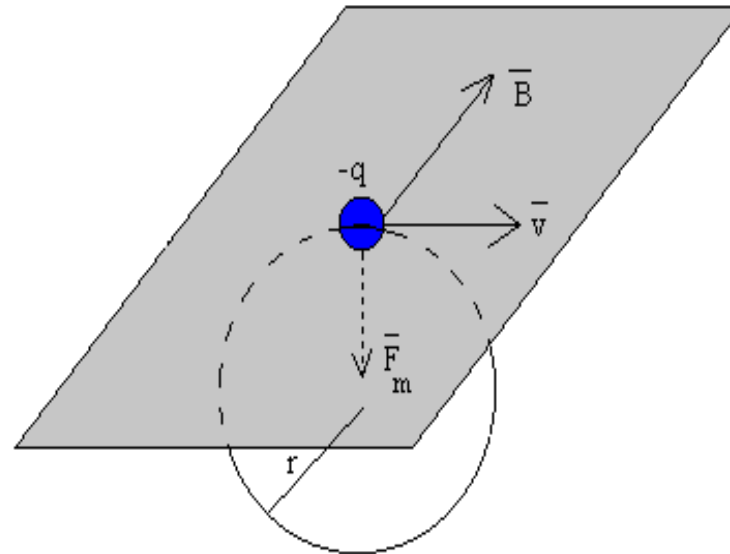
# DEFINICION Y PROPIEDADES DE UN CAMPO MAGNETICO B

Campo magnético B  
(Vector de inducción)



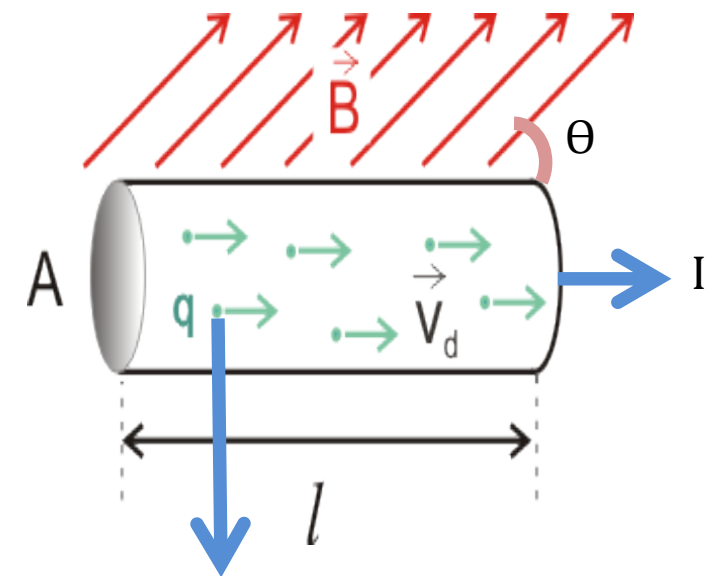
En términos de F (Fuerza) y q (ejercida sobre un objeto o punto)

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$



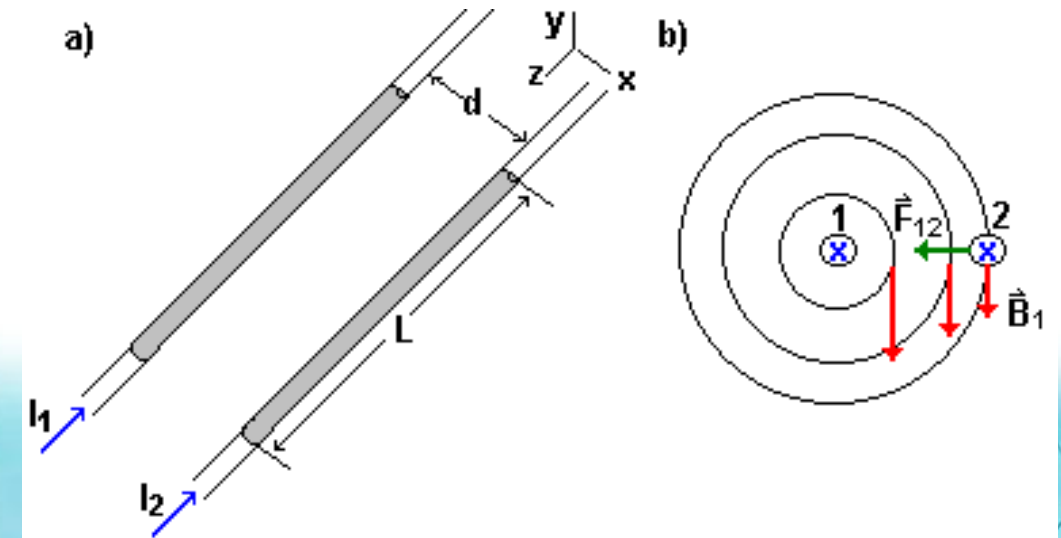
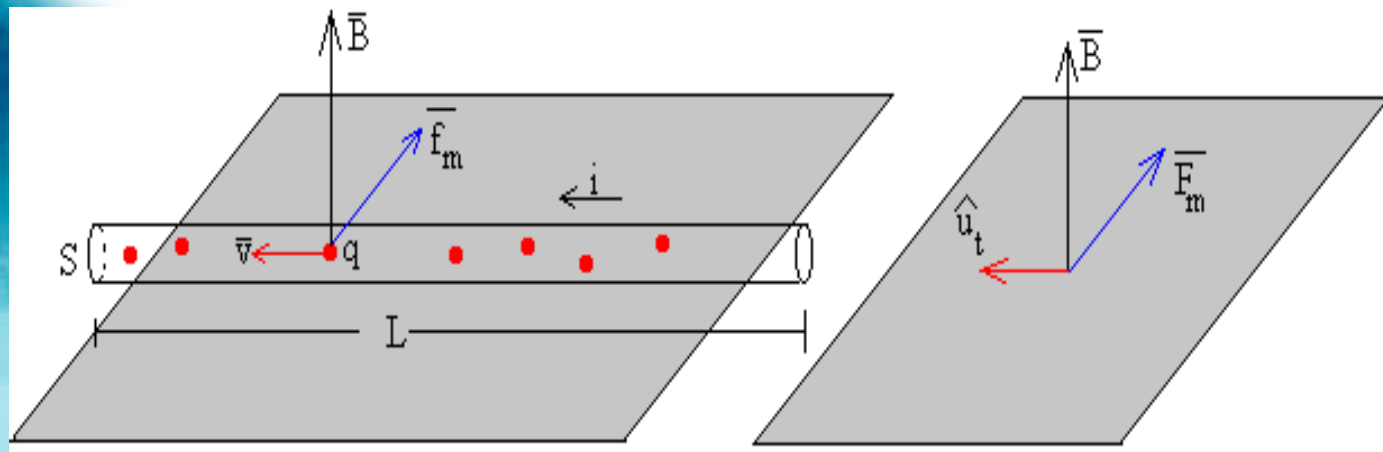
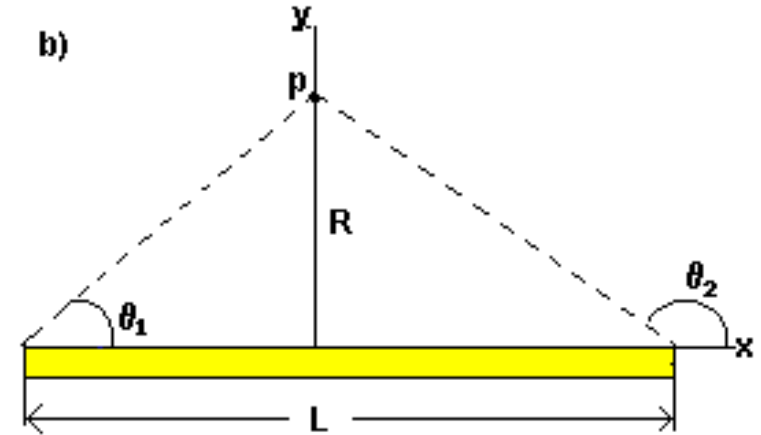
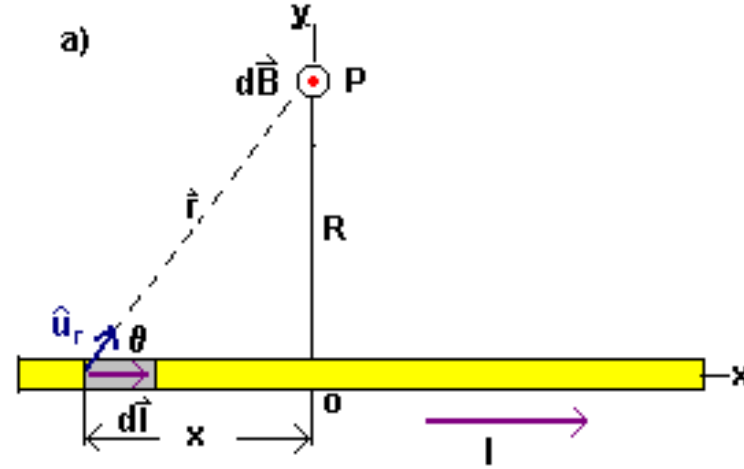
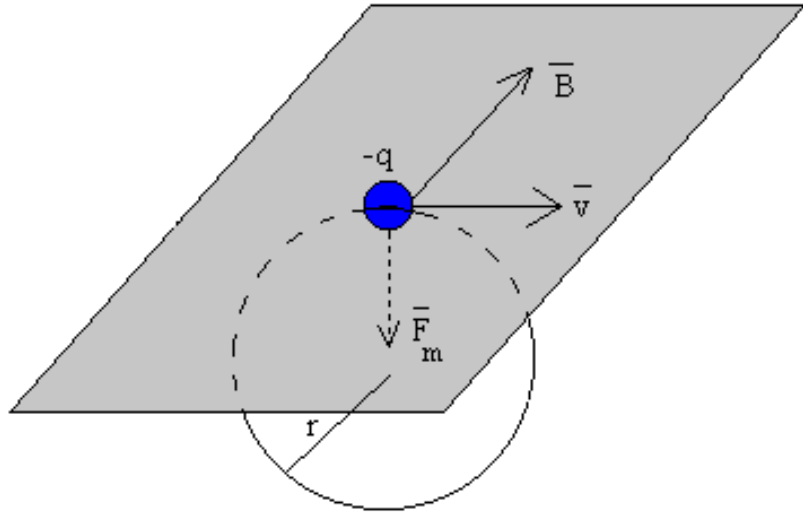
F siempre es normal  
al plano de q, V, B

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



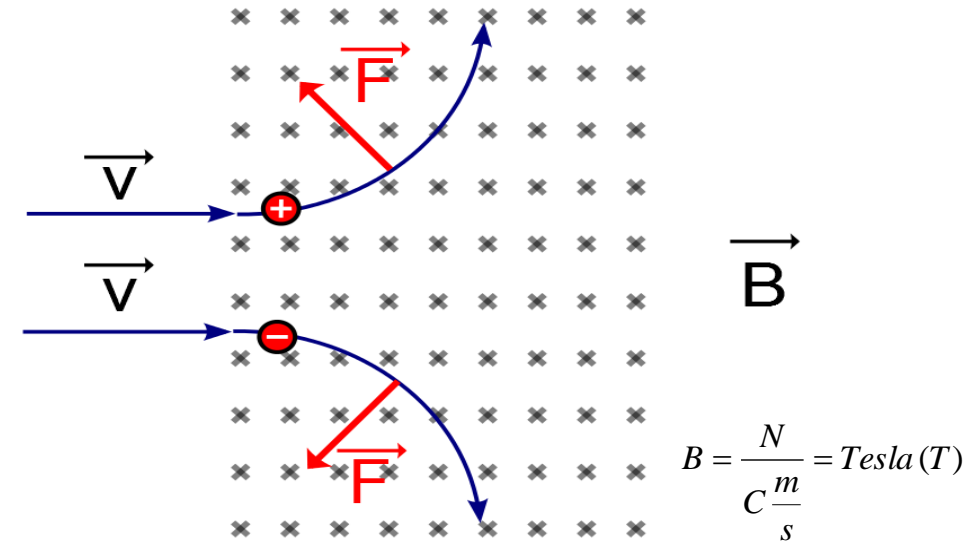


# FUERZA MAGNETICA

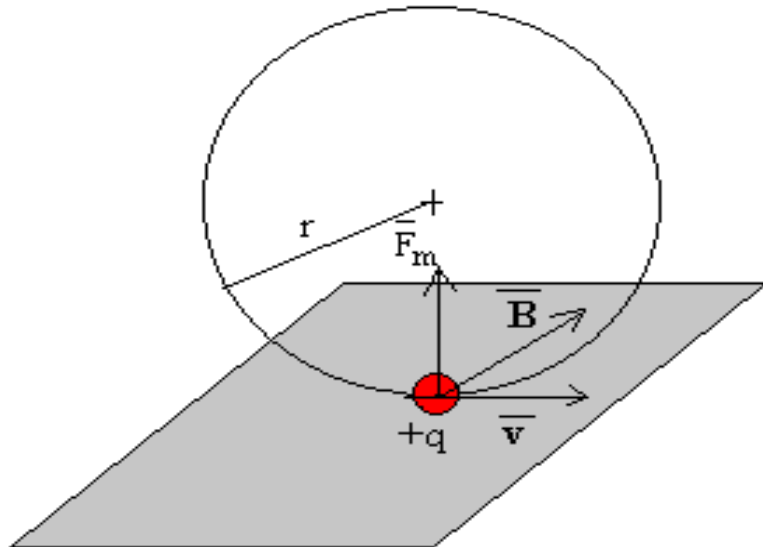


# FUERZA MAGNETICA SOBRE CARGA EN MOVIMIENTO

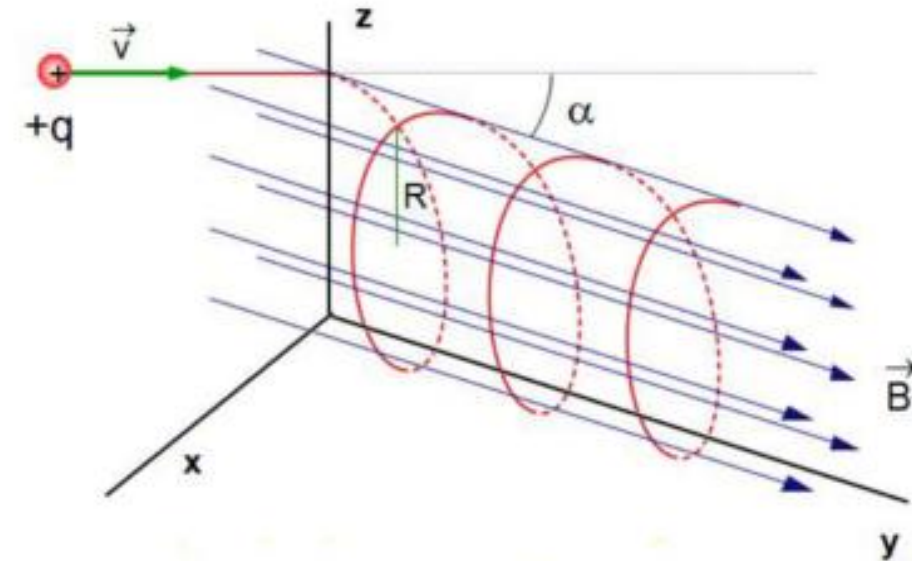
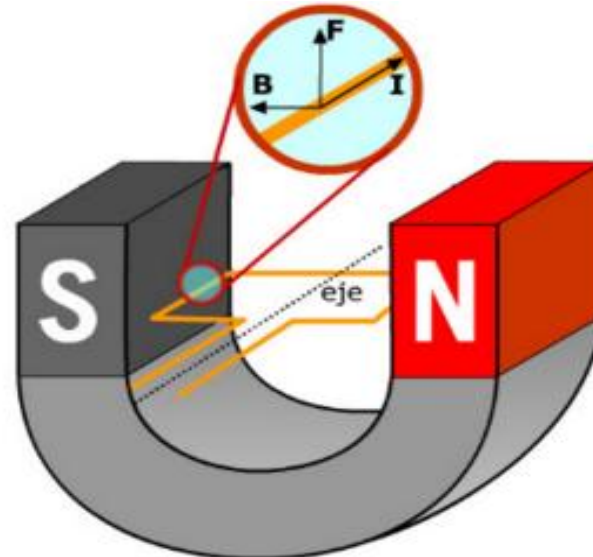
- ✓ Sobre una carga eléctrica en movimiento  $qv$  que atraviese un campo magnético  $B$  aparece una fuerza denominada fuerza magnética.
- ✓ Ésta modifica la dirección de la velocidad, sin modificar su módulo.
- ✓ No cambia la rapidez o energía cinética de la partícula o carga en movimiento.
- ✓ El campo magnético  $B$  no realiza trabajo sobre la partícula cargada en movimiento (solo desvía trayectoria).



$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

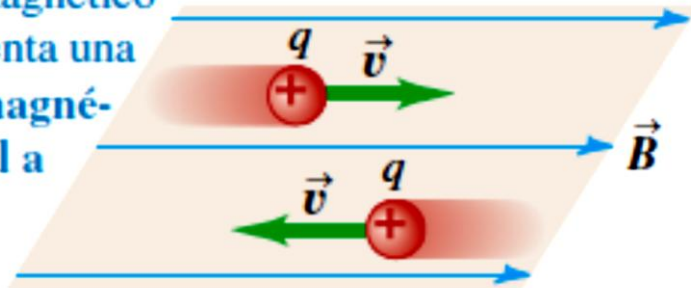


$$F = QvB \sin \theta$$



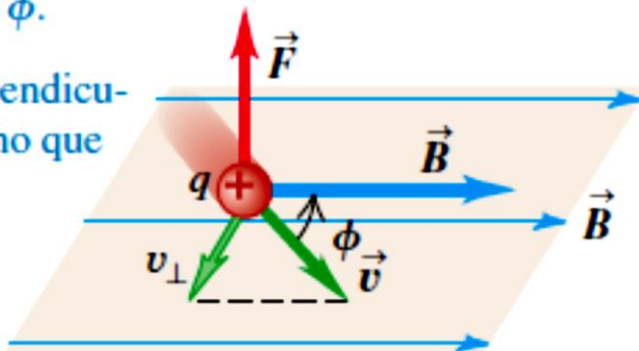
# FUERZA MAGNETICA SOBRE CARGA EN MOVIMIENTO

Una carga que se mueve en forma **paralela** al campo magnético experimenta una fuerza magnética igual a **cero**.

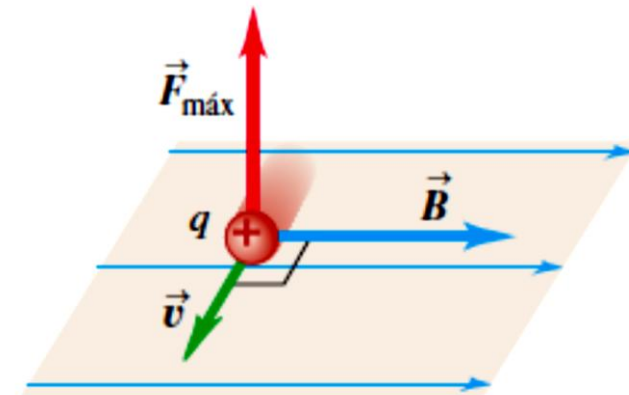


Una carga que se mueva con un ángulo  $\phi$  con respecto a un campo magnético experimenta una fuerza magnética con magnitud  $F = |q|v_{\perp}B = |q|vB \sin \phi$ .

$\vec{F}$  es perpendicular al plano que contiene  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$ .



Una carga que se mueva de manera **perpendicular** a un campo magnético experimenta una fuerza magnética máxima con magnitud  $F_{\text{máx}} = qvB$ .



$$F = |q|v_{\perp}B = |q|vB \cos \phi$$

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

$B$ : Campo magnético [ T ]

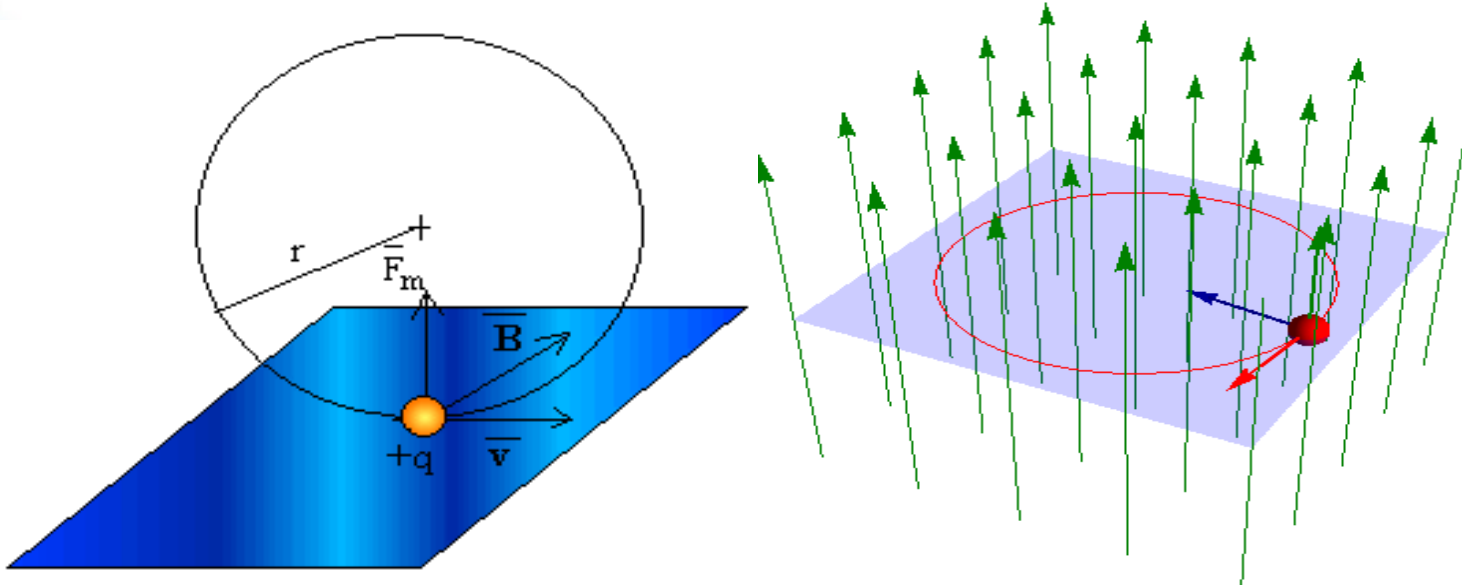
1 Tesla [ T ] = 1 N/A·m



# FUERZA MAGNETICA SOBRE CARGA EN MOVIMIENTO

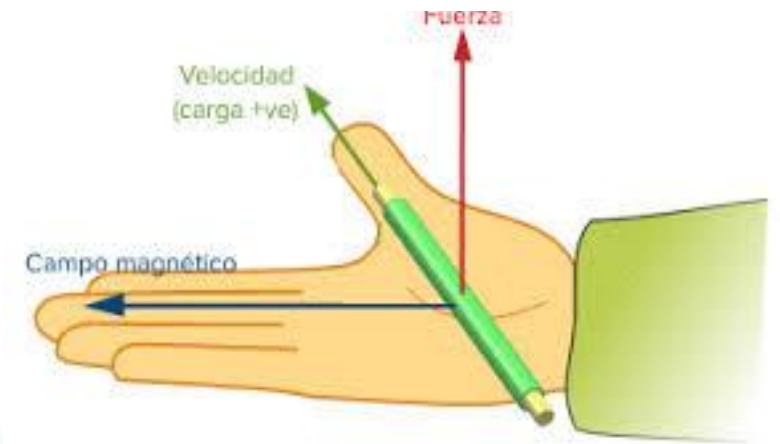
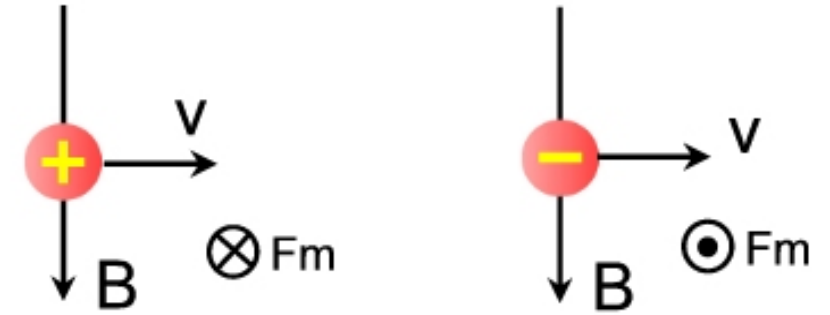
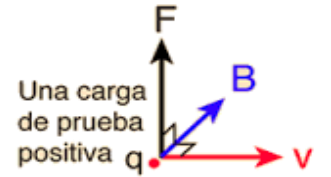
## PROPIEDADES DE LA FUERZA MAGNETICA.

- ✓ Es directamente proporcional a la carga “q” y a la rapidez “V”.
- ✓ Es perpendicular al plano formado por la velocidad “V” y el campo magnético “B”
- ✓ Es directamente proporcional al seno del ángulo que forman la velocidad y la dirección del campo magnético
- ✓ Es igual a cero (mínima) cuando la partícula se mueve en dirección paralela al campo magnético (“V” // “B” )
- ✓ Es máxima cuando la partícula se mueve en dirección perpendicular al campo magnético (“V” ⊥ “B”).



Aparece cuando cargas eléctricas se desplazan en el interior de un campo magnético B.

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$



✓ El sentido de la fuerza para cargas positivas se obtiene con la regla de la mano derecha. Si las cargas son negativas tendrá la misma dirección pero con sentido contrario.

# FUERZA MAGNETICA SOBRE CARGA EN MOVIMIENTO

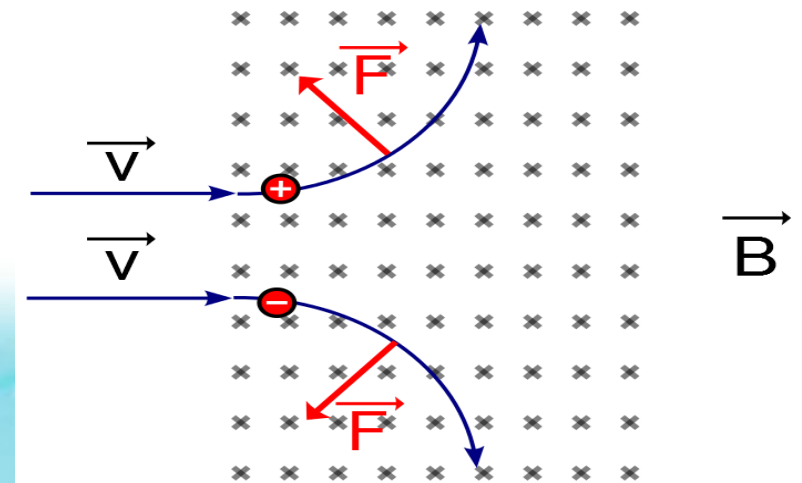
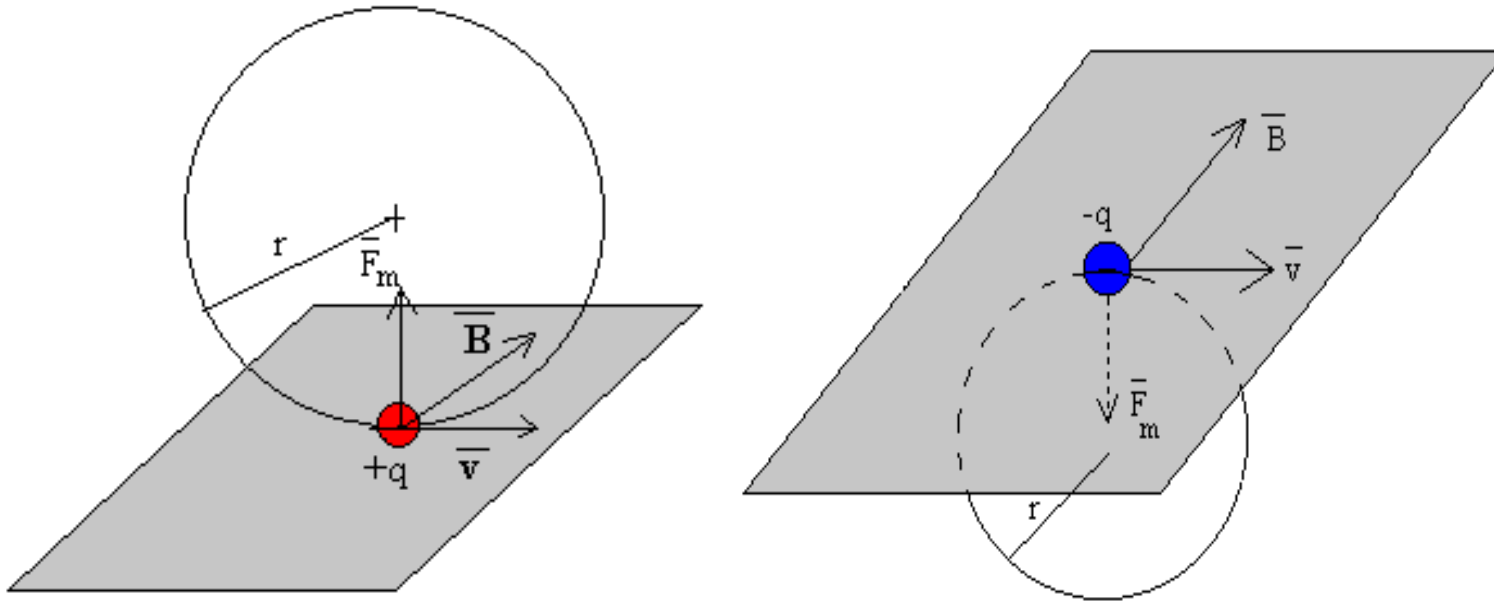
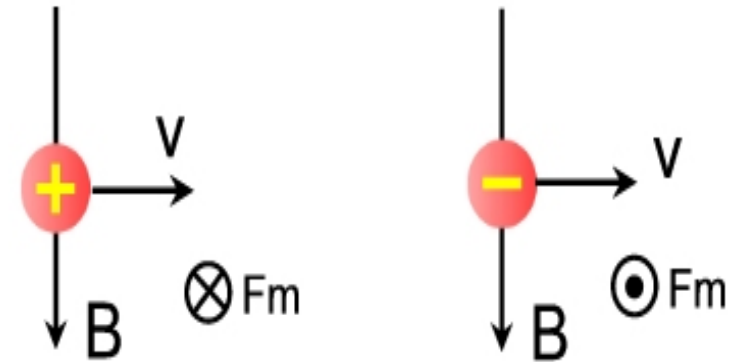


Aparece cuando cargas eléctricas se desplazan en el interior de un campo magnético  $B$ .

## IMPORTANTE:

- ✓ Las líneas de campo magnético  $B$  que van hacia afuera del papel se indican mediante puntos (representan los puntos de la flecha)
- ✓ Las líneas de campo magnético  $B$  que van hacia el papel se indican mediante cruces (representan las plumas de la flecha que van hacia adentro)

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$



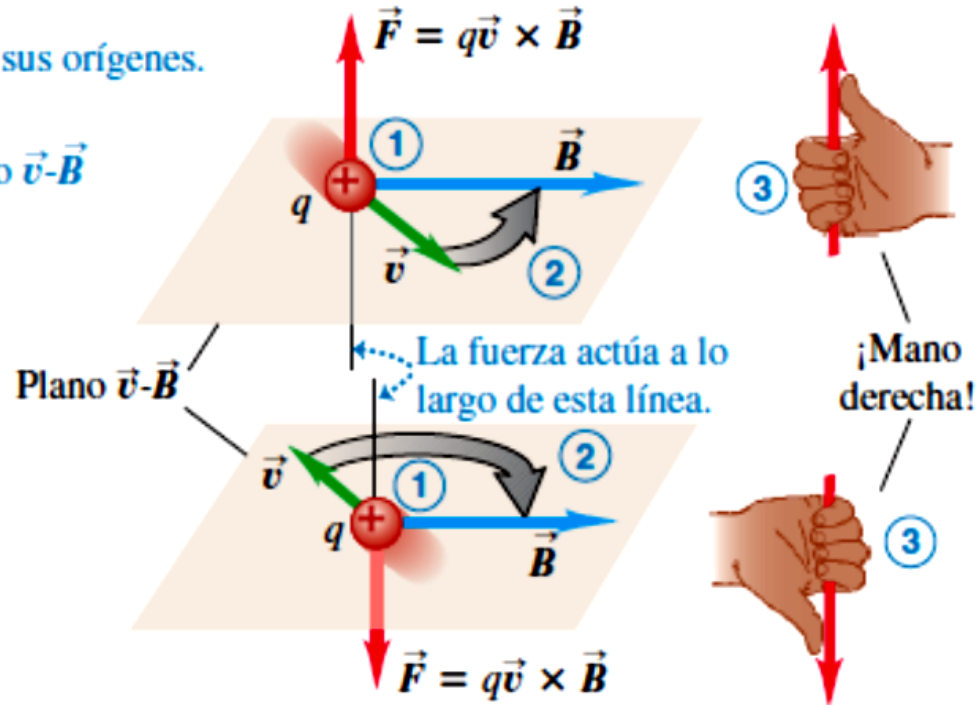
# Dirección de la fuerza magnética

**Regla de la mano derecha para la dirección de la fuerza magnética sobre una carga positiva que se mueve en un campo magnético:**

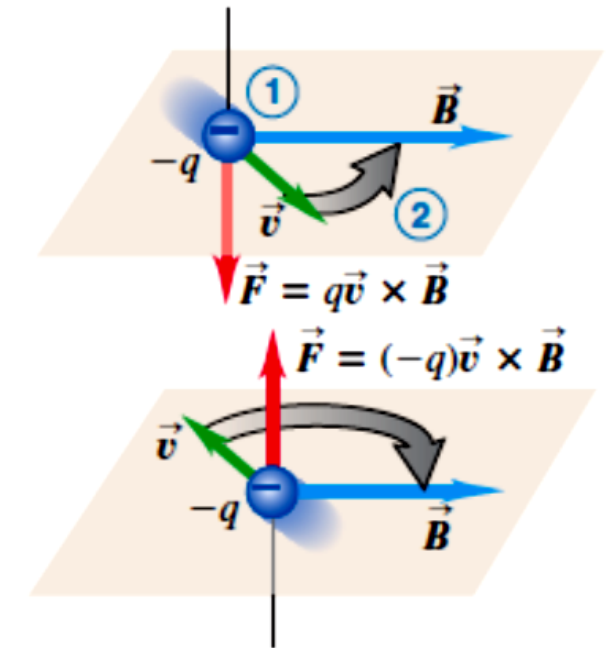
① Coloque los vectores  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$  unidos en sus orígenes.

② Imagine que gira  $\vec{v}$  hacia  $\vec{B}$  en el plano  $\vec{v}-\vec{B}$  (en el menor ángulo).

③ La fuerza actúa a lo largo de una línea perpendicular al plano  $\vec{v}-\vec{B}$ . Enrolle los dedos de su mano derecha en torno a esta línea en la misma dirección que giró a  $\vec{v}$ . Ahora, su pulgar apunta en la dirección que actúa la fuerza.



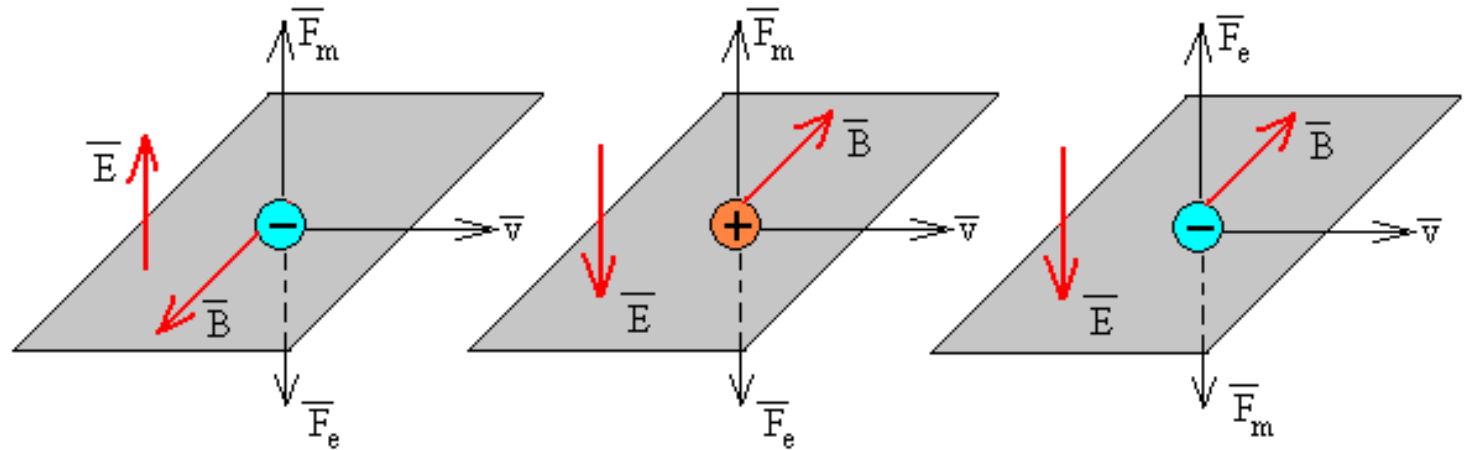
Si la carga es negativa, la dirección de la fuerza es *opuesta* a la que da la regla de la mano derecha.



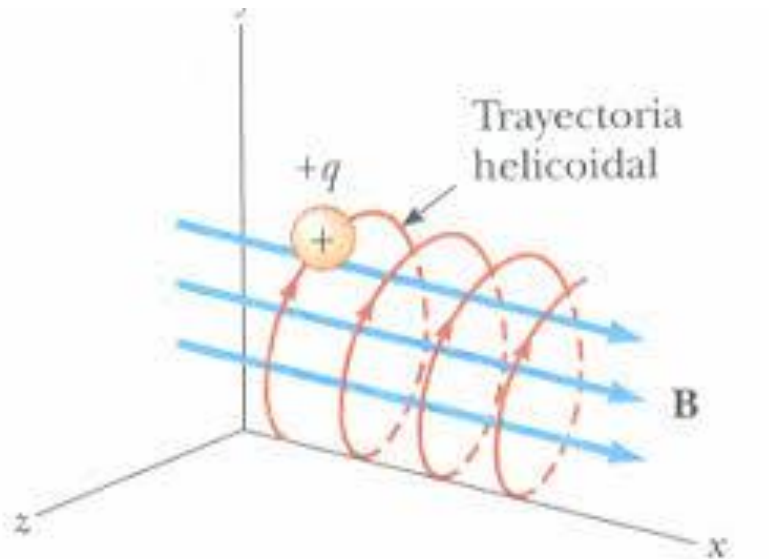


# Fuerza de Lorentz

$$\vec{F} = \underbrace{q\vec{E}}_{\text{Fuerza eléctrica}} + \underbrace{q\vec{v} \times \vec{B}}_{\text{Fuerza magnética}}$$



## Movimiento de una carga en un campo magnético uniforme



(Fuerza magnética)  $\vec{F}_m = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$

$$\vec{F} - m\vec{a}_N = 0$$

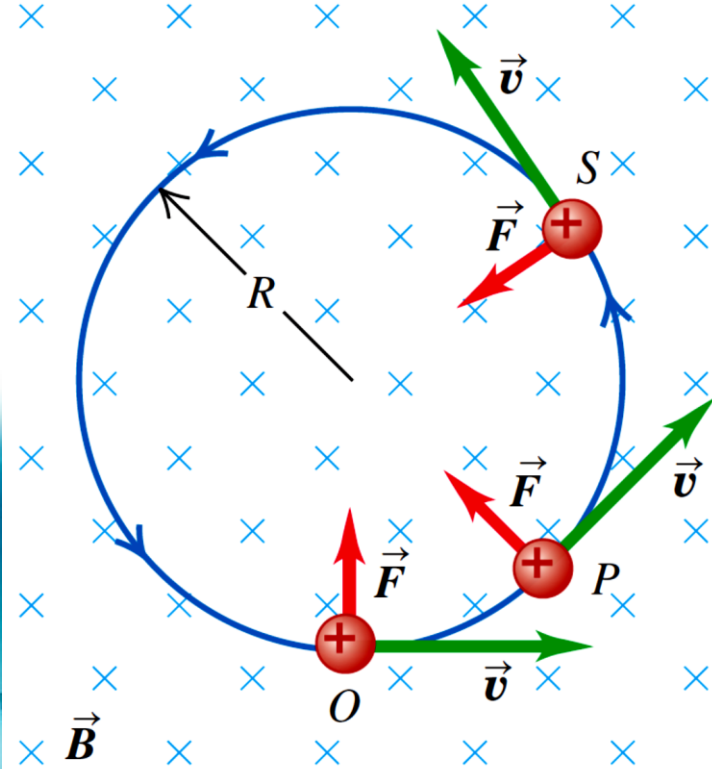


$$\left. \begin{aligned} F &= q \cdot v \cdot B \\ F &= \frac{mv^2}{r} \end{aligned} \right\} \rightarrow q \cdot v \cdot B = \frac{mv^2}{r} \rightarrow r = \frac{mv}{qB}$$

siendo  $\left\{ \begin{aligned} &\text{(frecuencia del ciclotrón)} \\ &w = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m} \\ &\text{(periodo)} \\ &T = \frac{2\pi}{w} = \frac{2m}{qB} \end{aligned} \right.$

# Movimiento de una carga en un campo magnético uniforme

Una carga que se mueve con ángulos rectos con respecto a un campo  $\vec{B}$  uniforme se mueve en círculo a rapidez constante, porque  $\vec{F}$  y  $\vec{v}$  siempre son perpendiculares entre sí.



El movimiento de una partícula cargada bajo la sola influencia de un campo magnético siempre ocurre con rapidez constante.

$$F = |q|vB = m \frac{v^2}{R}$$

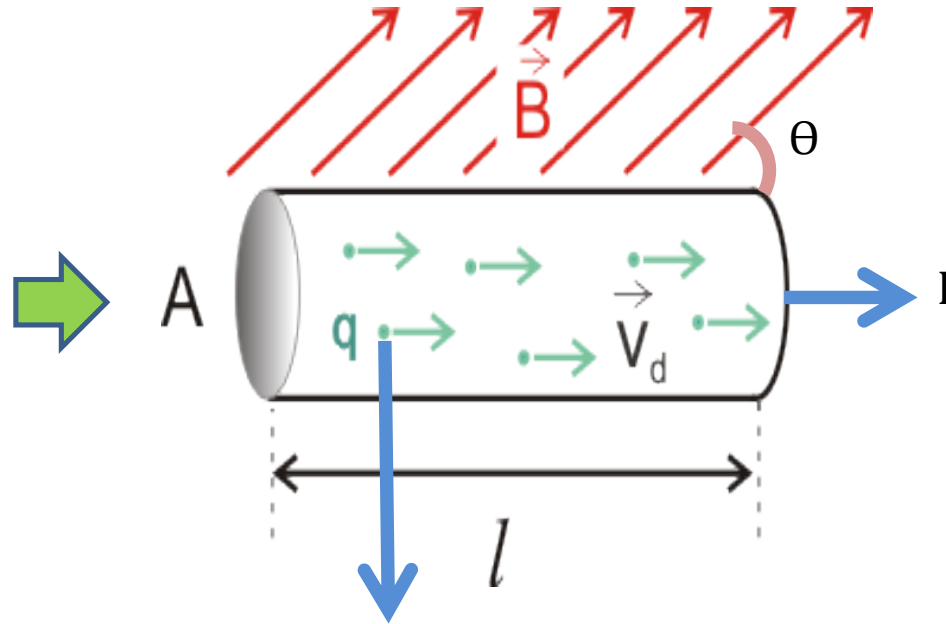
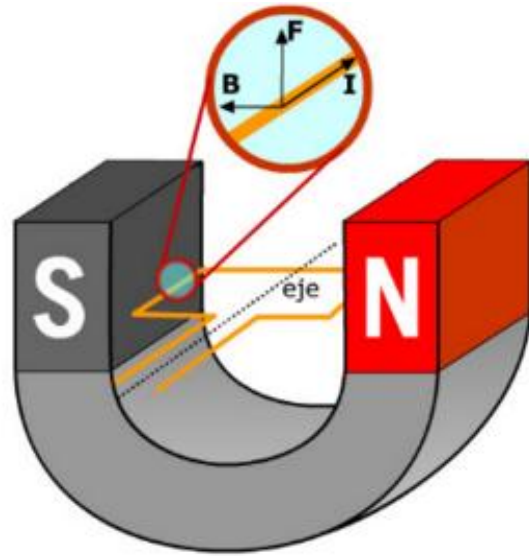
$$R = \frac{mv}{|q|B}$$

Radio de una órbita circular en un campo magnético

$$\omega = \frac{v}{R} = v \frac{|q|B}{mv} = \frac{|q|B}{m}$$

Frecuencia del ciclotrón

# FUERZA MAGNÉTICA SOBRE UN CONDUCTOR QUE LLEVA UNA CORRIENTE ELÉCTRICA (ALAMBRE RECTO)



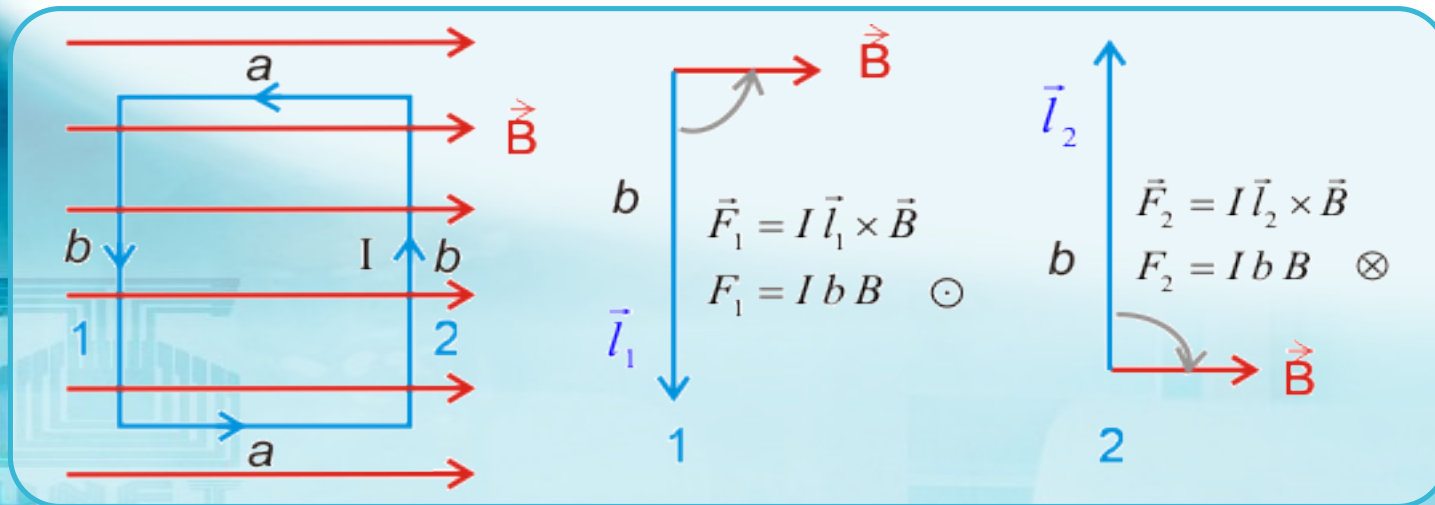
Tomando en cuenta:

$$\vec{F} = (nAL)Q\vec{v}_d \times \vec{B}$$

$$I = nQ\vec{v}_d A$$

Obtenemos:

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



$$\vec{F}_1 = I\vec{l}_1 \times \vec{B}$$

$$F_1 = I b B \quad \odot$$

$$\vec{F}_2 = I\vec{l}_2 \times \vec{B}$$

$$F_2 = I a B \quad \otimes$$

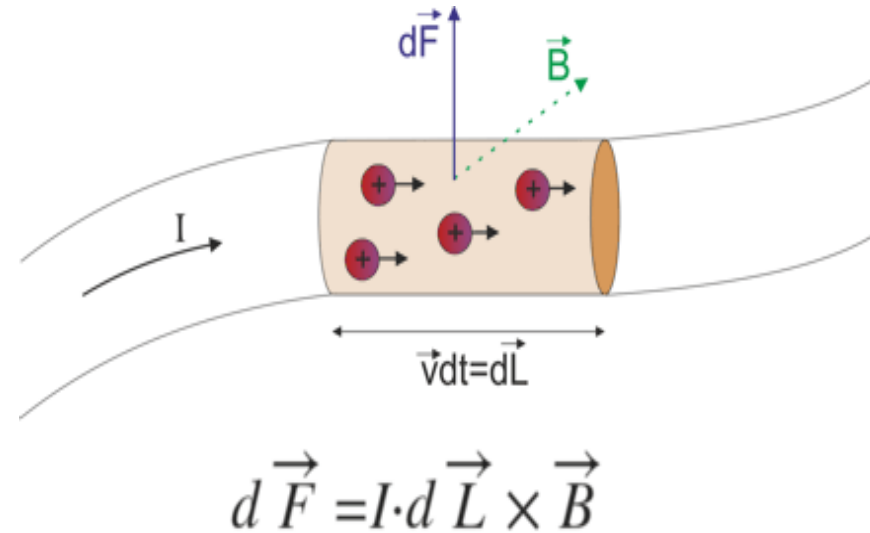
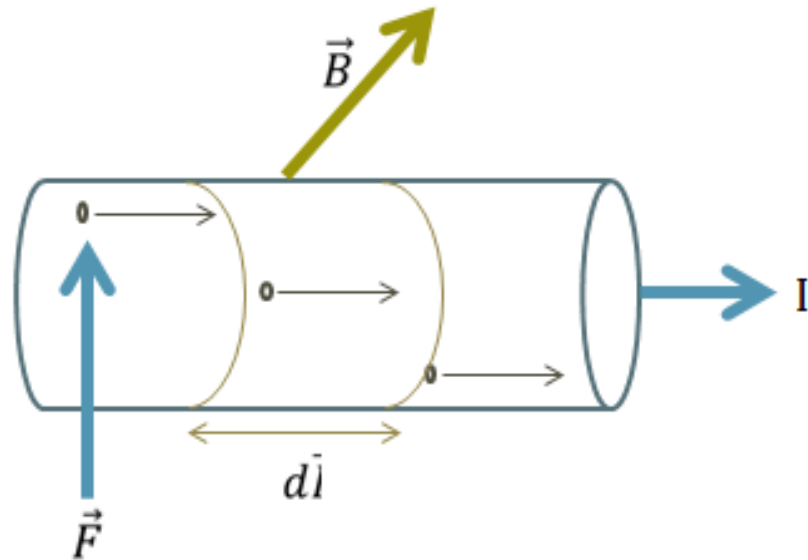
## TERMINOS:

- L: LONGITUD
- I: CORRIENTE
- $\vec{B}$ : CAMPO MAGNETICO
- A: ÁREA TRANSVERSAL
- n: PORTADORES DE CARGA/UNIDAD VOLUMEN
- $\vec{v}_d$ : VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO



# Fuerza magnética sobre un conductor que lleva una corriente eléctrica (alambre de forma arbitraria)

Campo Magnético no Uniforme:

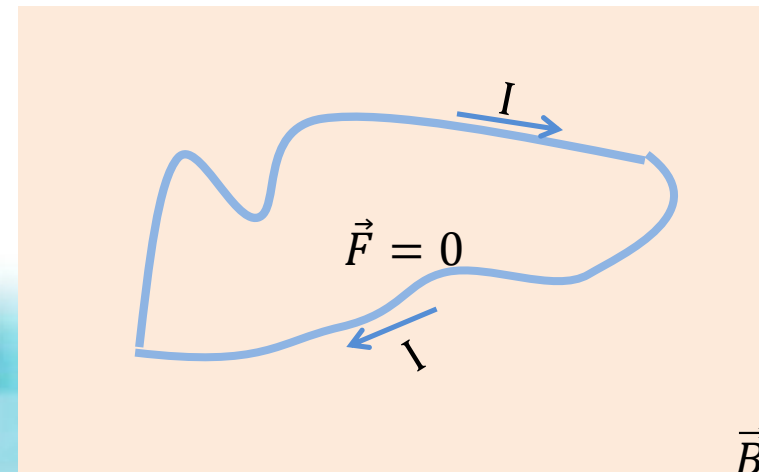
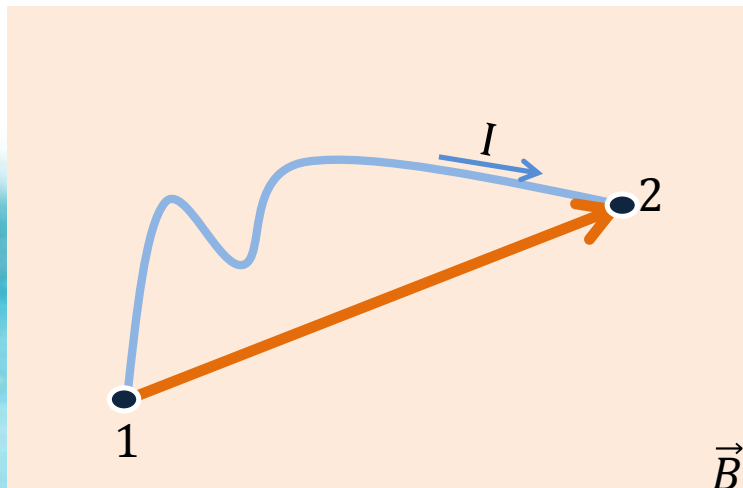


Partiendo de:

$$d\vec{F} = I d\vec{L} \times \vec{B}$$

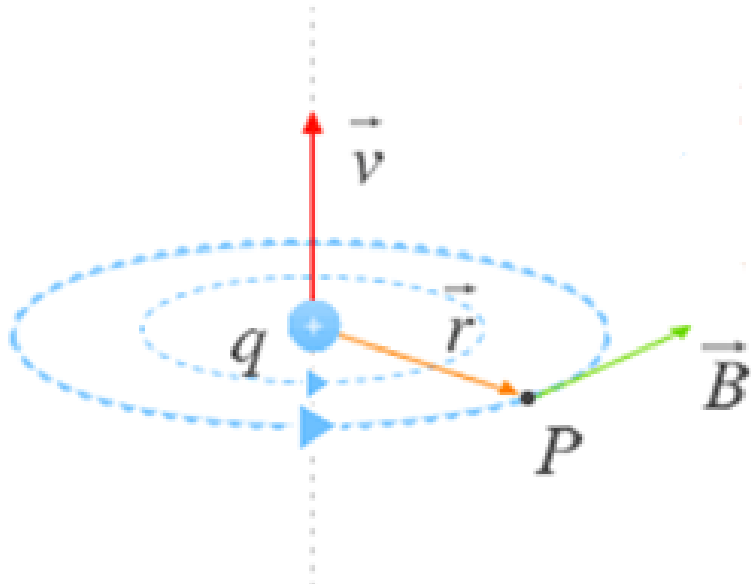
Obtenemos:

$$\vec{F} = \int I d\vec{L} \times \vec{B}$$



# CAMPO MAGNÉTICO DE UNA CARGA PUNTUAL EN MOVIMIENTO

$$\vec{B} = \frac{\mu}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{q \cdot \vec{v} \times \vec{u}_r}{r^2}$$

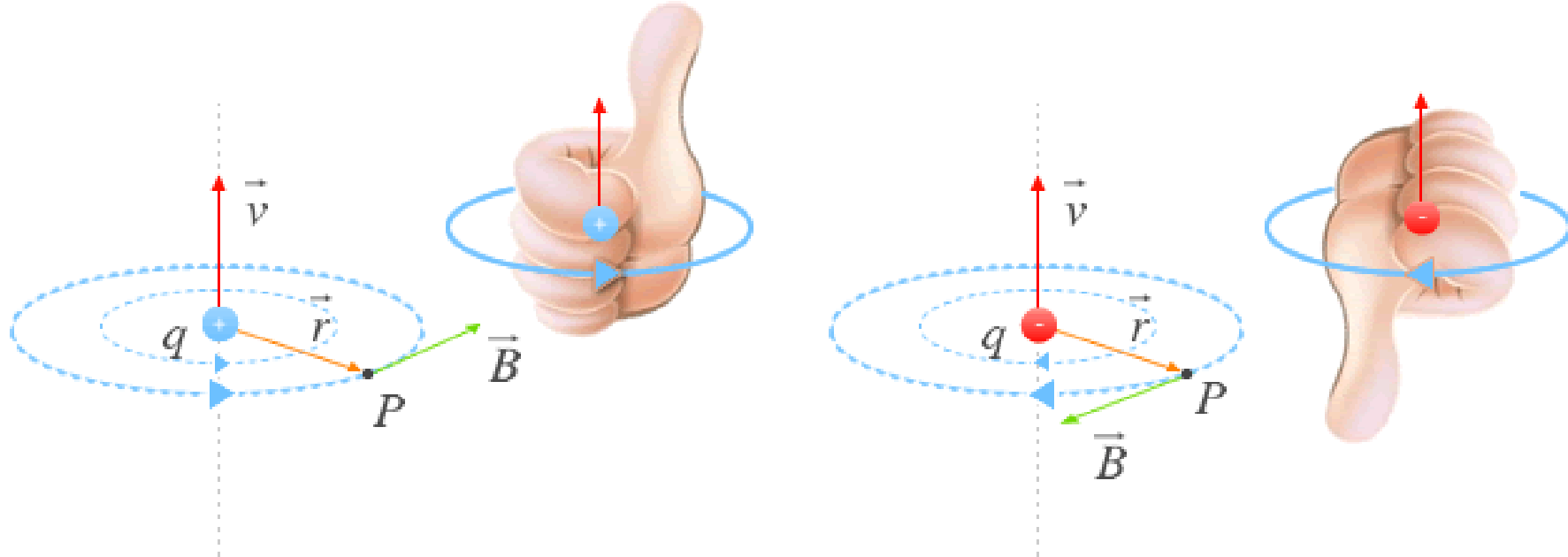


Donde:

- $\vec{B}$  es la intensidad del campo magnético o simplemente campo magnético en el punto P. En el S.I. se mide en Teslas (T).
- $\mu$  se denomina **permeabilidad magnética** y depende del medio en el que se encuentre la carga. En el S.I. se mide en  $\text{m} \cdot \text{kg} / \text{C}^2$
- $q$  es la carga en movimiento. En el S.I. se mide en culombios (C).
- $\vec{v}$  es la velocidad a la que se mueve la carga. En el S.I. se mide en metros por segundo (m/s).
- $\vec{r}$  es el vector posición que va desde la carga  $q$  hasta el punto P donde se evalúa  $\vec{B}$ . En el S.I. se mide en metros (m).
- $\vec{u}_r$  es un vector unitario de  $\vec{r}$ . En el S.I. se mide en metros (m).  $|\vec{r}|$  es el módulo de  $\vec{r}$ . En el S.I. se mide en metros (m).



# SENTIDO DEL CAMPO MAGNÉTICO DE UNA CARGA PUNTUAL



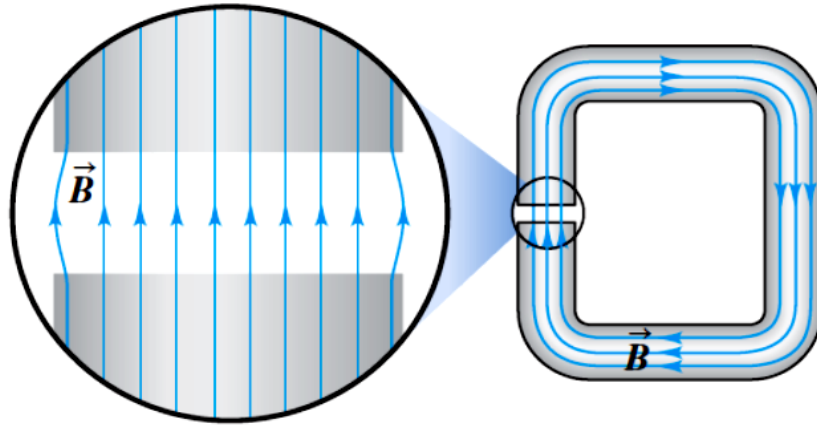
- ✓ Su sentido se puede determinar fácilmente por medio de la **regla de la mano derecha**.
- ✓ Esta consiste en situar el pulgar de la mano derecha sobre la dirección del vector velocidad.
- ✓ Si orientas el pulgar en el mismo sentido que el vector velocidad en el caso de que la carga sea positiva y en sentido contrario en el caso de que sea negativa, el resto de dedos te indicarán el sentido del campo magnético.



# Líneas de campo magnético

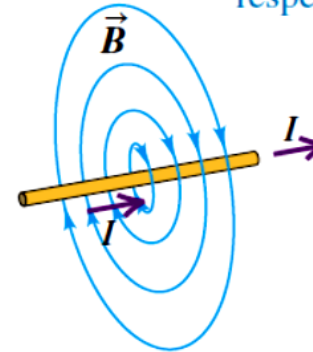
a) Campo magnético de un imán en forma de C

Entre polos magnéticos paralelos y planos, el campo magnético es casi uniforme.

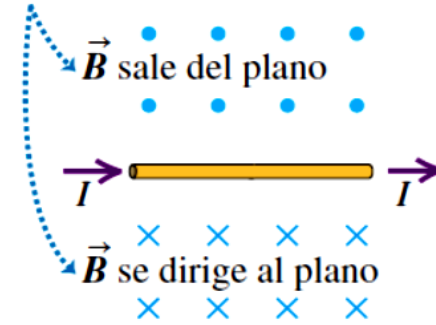


b) Campo magnético de un alambre recto que conduce corriente

Para representar un campo que sale del plano del papel o llega a éste se usan puntos y cruces, respectivamente.

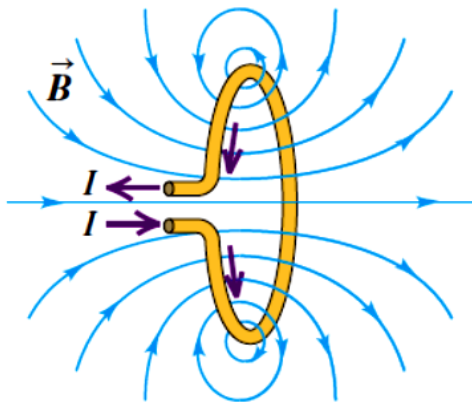


Vista en perspectiva



El alambre está en el plano del papel

c) Campos magnéticos de una espira y una bobina (solenoides) que conducen corriente



Observe que el campo de la espira y, especialmente, de la bobina, se parecen al campo de un imán de barra (véase la figura 27.11).

