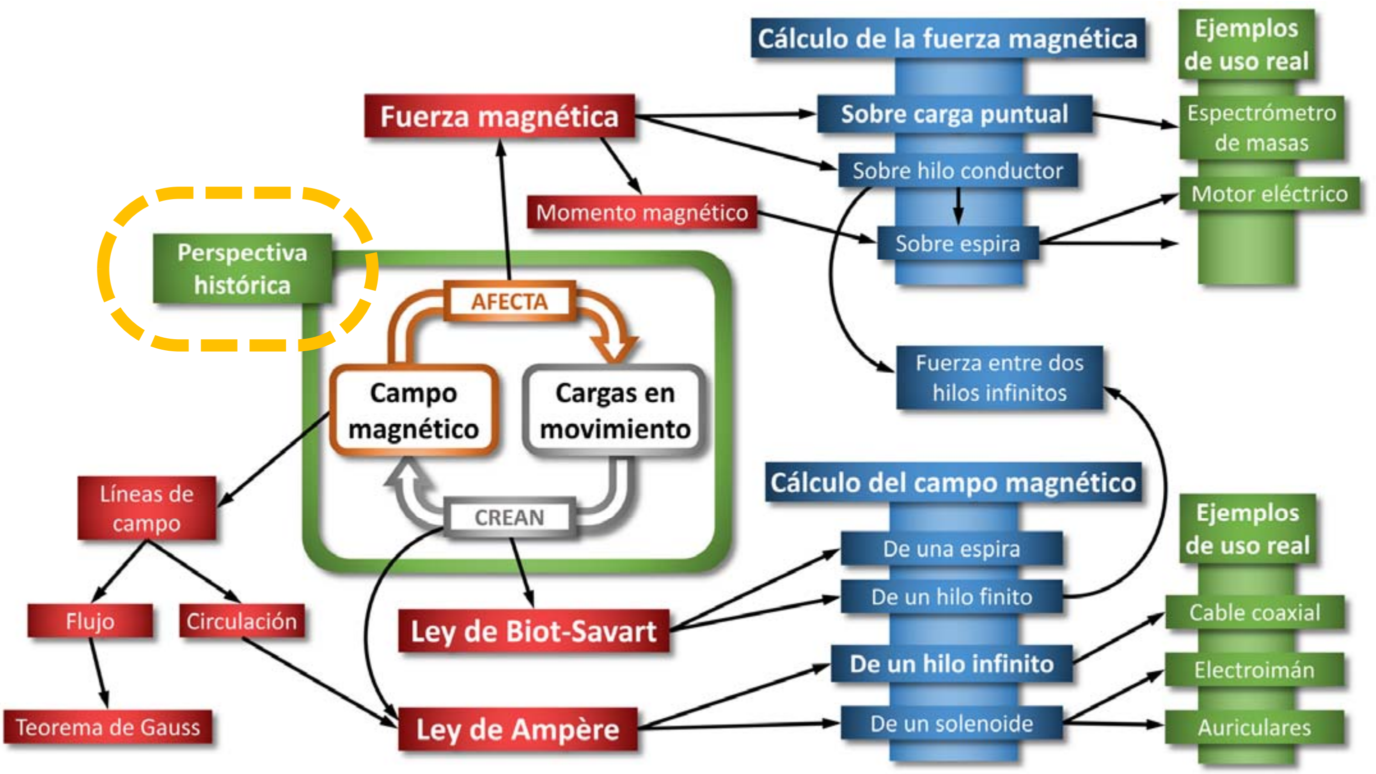
Bloque I: Electricidad | **Bloque II: Magnetismo** | **Bloque III: Ondas y Óptica**

¿Sobre qué actúa el campo magnético?

¿Cuáles son las fuentes del campo magnético?



Fenomenología del campo magnético

S. XII a.C. → Brújula en China

800 a.C. → Griegos → Magnetita atrae hierro

1269 → Todo imán posee 2 polos (N y S), donde la intensidad es máxima
→ Polos iguales se repelen, diferentes se atraen

1600 → W. Gilbert → La Tierra es un imán natural

1750 → John Mitchell → Fuerza magnética $\propto 1/r^2$
→ Si un imán se parte sigue teniendo dos polos

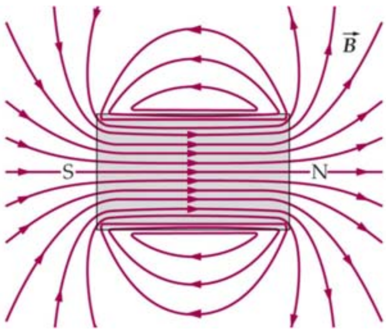
1819 → Hans Oersted → Corriente eléctrica afecta a brújula
→ André-Marie Ampère → Fuerza magnética entre portadores de corriente

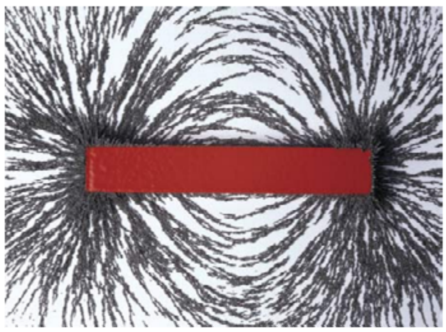
1820 → Michael Faraday + Joseph Henry
Movimiento de imán dentro de un circuito genera corriente eléctrica
→ James Maxwell
Unificación de los campos eléctricos y magnético en el **campo electromagnético**

Líneas de campo magnético

El campo magnético, al igual que el eléctrico, es un **campo vectorial** $\boxed{\vec{B}}$

Unidades del campo magnético: Tesla (T) (Ns/Cm)



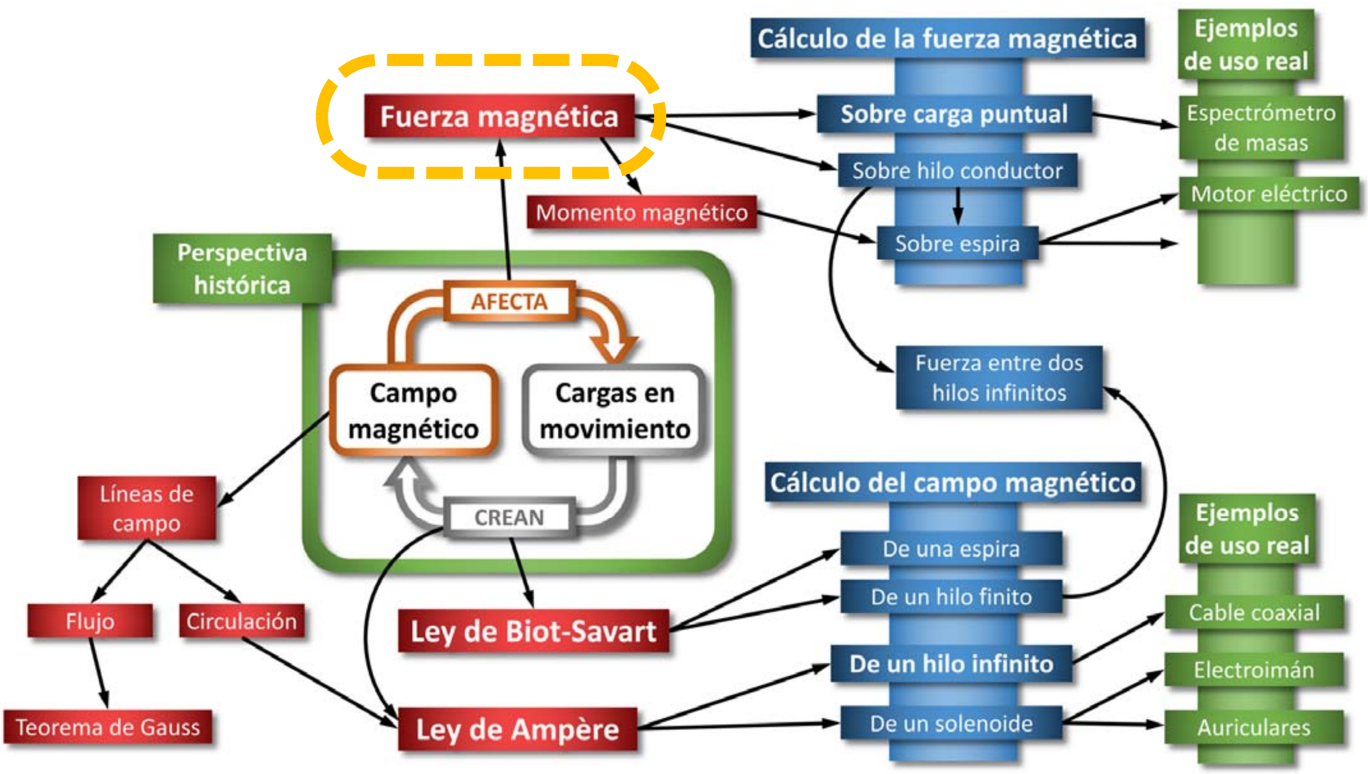


- **Dirección** del campo: Tangente a las líneas de campo.
- **Módulo** del campo: Mayor cuanto más líneas y más cercanas estén.

Líneas de campo magnético VS líneas de campo eléctrico

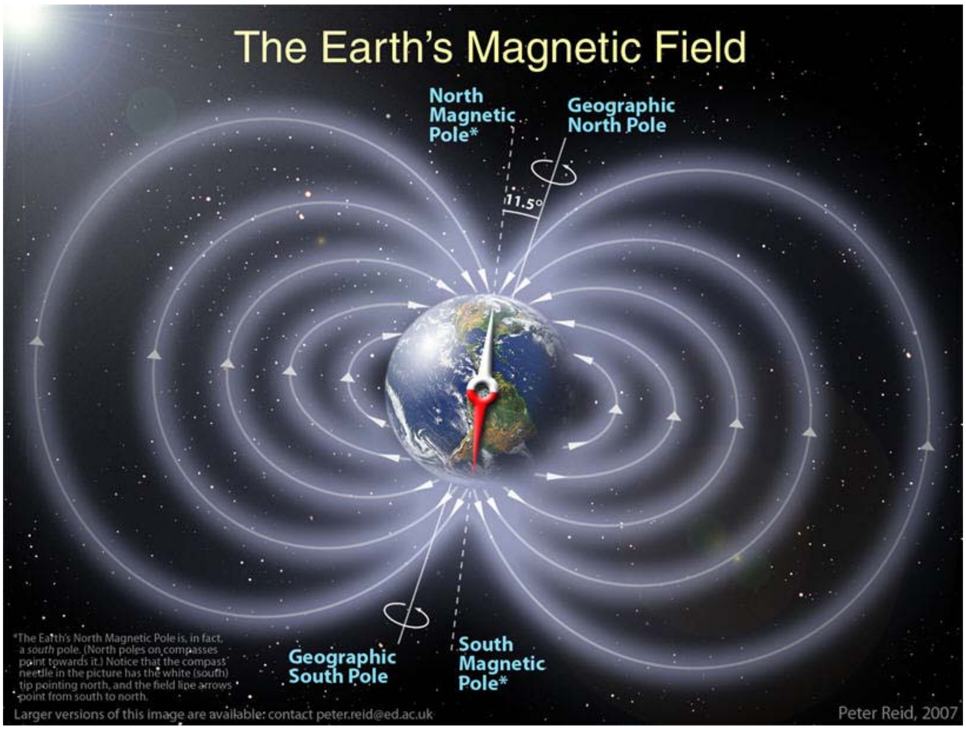
Campo eléctrico	Campo magnético
Fuerza sobre carga es **en la dirección** del campo	Fuerza sobre carga es **perpendicular a la dirección** del campo
Líneas **empiezan** en cargas positivas **y acaban** en negativas	Líneas **no empiezan ni acaban (son cerradas):** Por fuera: salen del polo N y entran por el S. Por dentro: salen del polo S y entran por el N

Bloque I: Electricidad | **Bloque II: Magnetismo** | **Bloque III: Ondas y Óptica**



PREGUNTA: ¿Cómo afecta el campo magnético terrestre a la vida en la Tierra?

HACER HIPÓTESIS POR GRUPOS



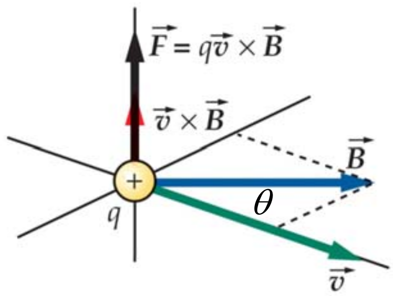
Fuerza creada por un campo magnético sobre una carga en movimiento

Ley empírica (basada en resultados de experimentos):

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

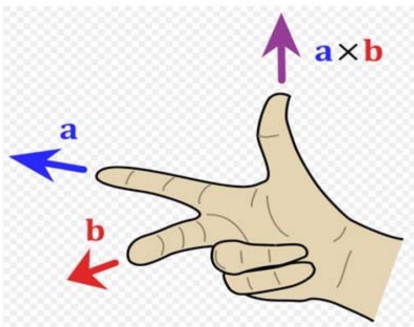
$$\boxed{\left|\vec{F}\right| = F = qvB\sin\theta}$$

- $\vec{F}$ Fuerza magnética sobre la carga q
- q Carga sobre la que se ejerce la fuerza
- $\vec{v}$ Velocidad de la carga q
- $\vec{B}$ Campo magnético



Producto vectorial → $\vec{F}$ es perpendicular a $\vec{v}$ y $\vec{B}$

Sentido de $\vec{F}$: **Regla de la Mano Derecha (RMD)**



$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} = q\begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ v_x & v_y & v_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} =$$

$$= q\begin{vmatrix} v_y & v_z \\ B_y & B_z \end{vmatrix}\hat{i} - q\begin{vmatrix} v_x & v_z \\ B_x & B_z \end{vmatrix}\hat{j} + q\begin{vmatrix} v_x & v_y \\ B_x & B_y \end{vmatrix}\hat{k}$$

FICHA 19

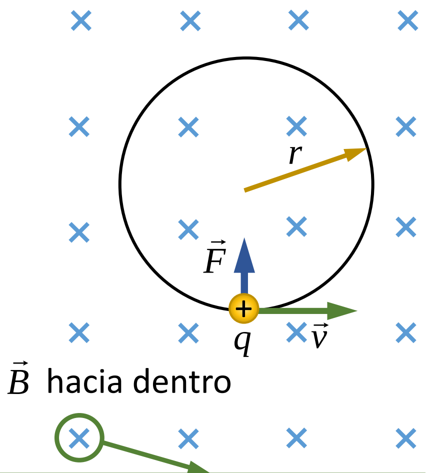
Movimiento de una carga puntual en un campo magnético

¿Cómo afecta la fuerza magnética al movimiento de una carga?

$\vec{F}$ siempre es perpendicular a $\vec{v}$ → Fuerza centrípeta

- Va a cambiar la dirección de $\vec{v}$, pero no su módulo
- No va a realizar trabajo → No cambia la energía cinética de la carga

Para simplificar, suponemos carga moviéndose perpendicular al campo magnético:



Regla del dardo
Cruz es dardo que entra
Punto es dardo que sale

Radio de giro, r

$$\left.\begin{aligned} F &= qvB \\ F &= ma \end{aligned}\right\} \rightarrow \boxed{a = \frac{v^2}{r}} \rightarrow qvB = m\frac{v^2}{r} \rightarrow \boxed{r = \frac{mv}{qB}}$$

Periodo, T (Tiempo en dar una vuelta)

$$T = \frac{distancia}{velocidad} = \frac{2\pi r}{v} \rightarrow \boxed{T = \frac{2\pi m}{qB}}$$

Velocidad angular, ω (radianes por unidad de tempo)

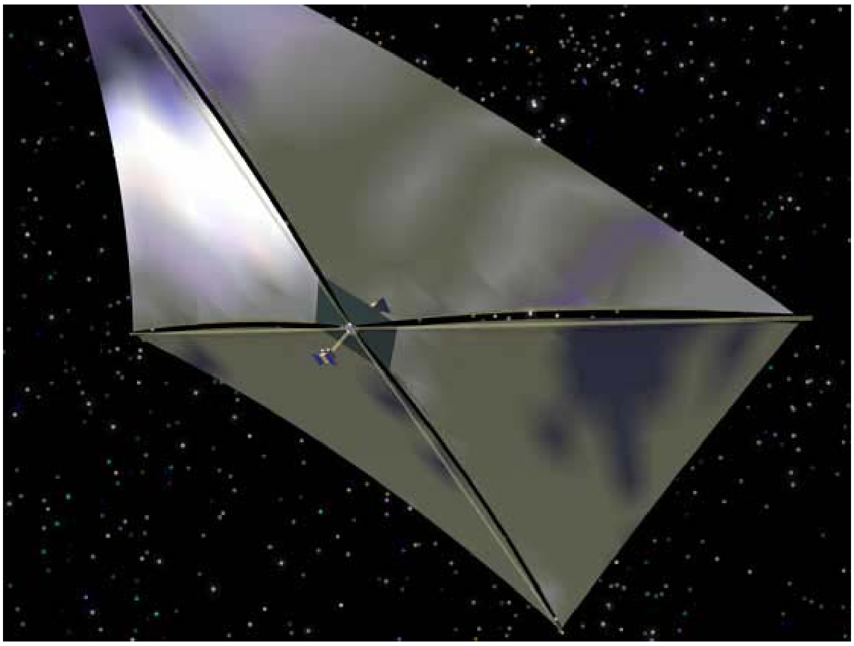
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \boxed{\omega = \frac{qB}{m}}$$

NOTA: Ni T ni ω dependen de v !!!

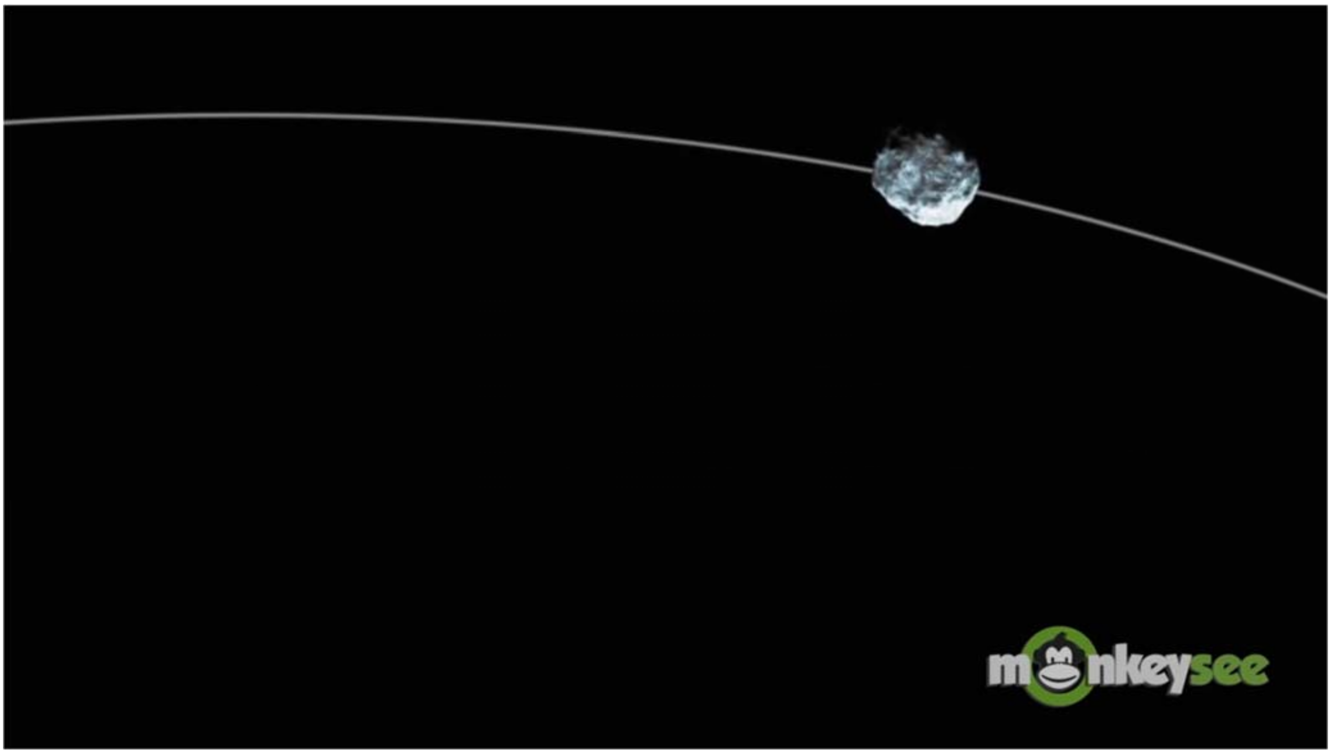
¿Sirve B como escudo frente a partículas cargadas?

Viento solar

Vela solar

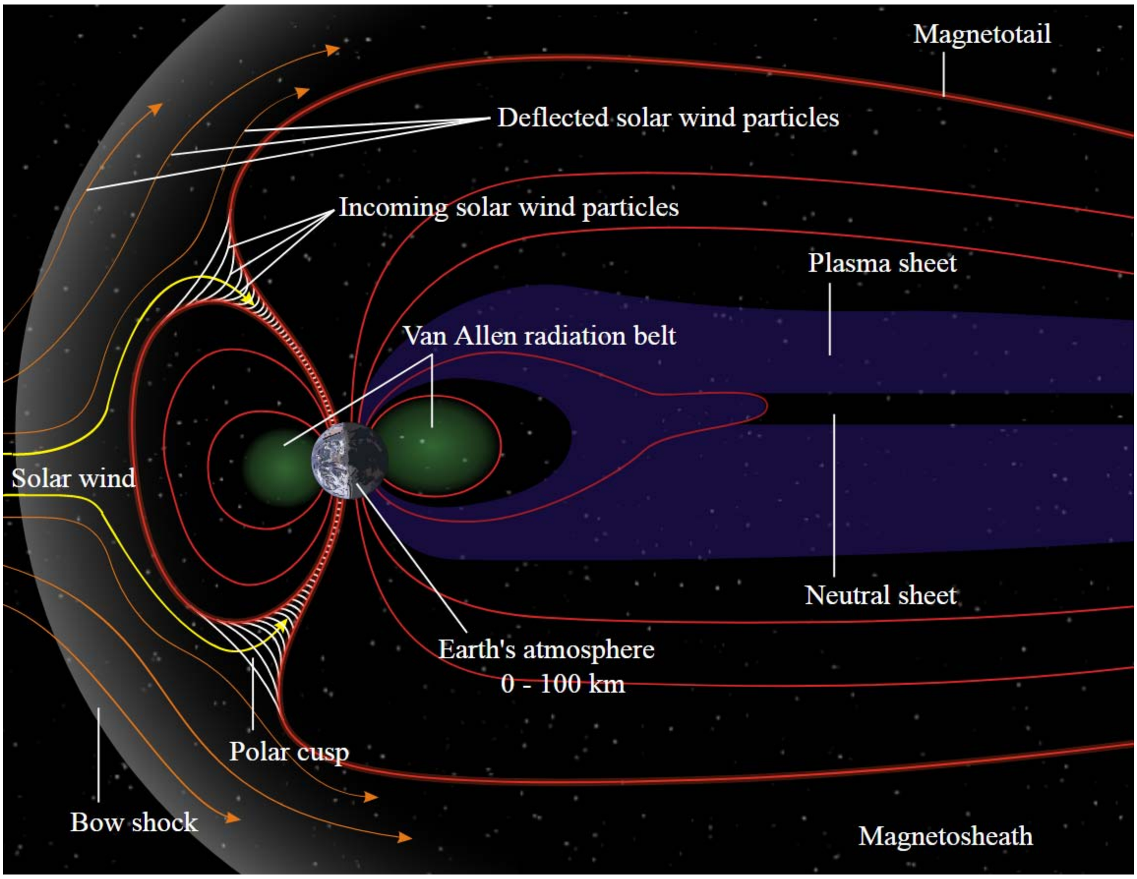


Cometa

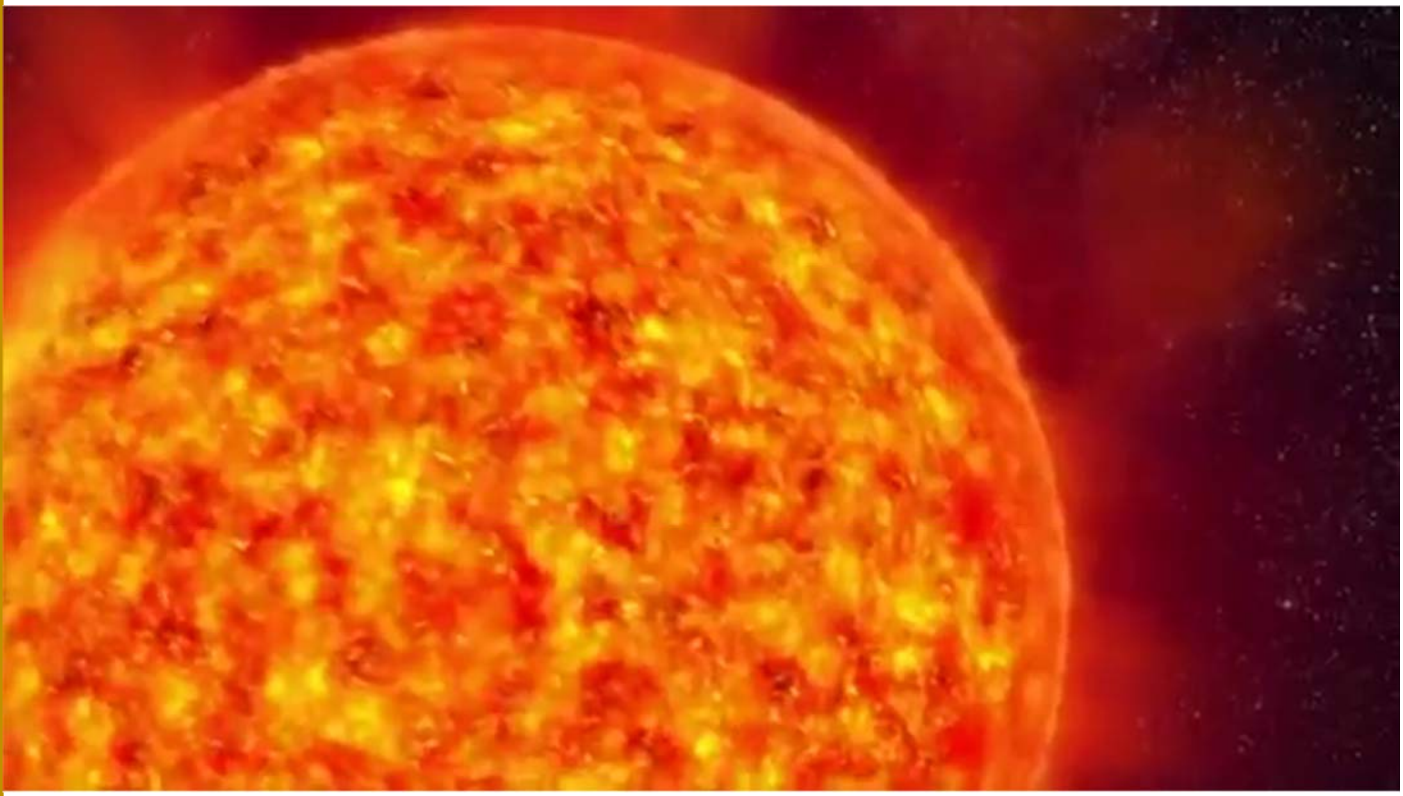


Viento solar VS magnetosfera

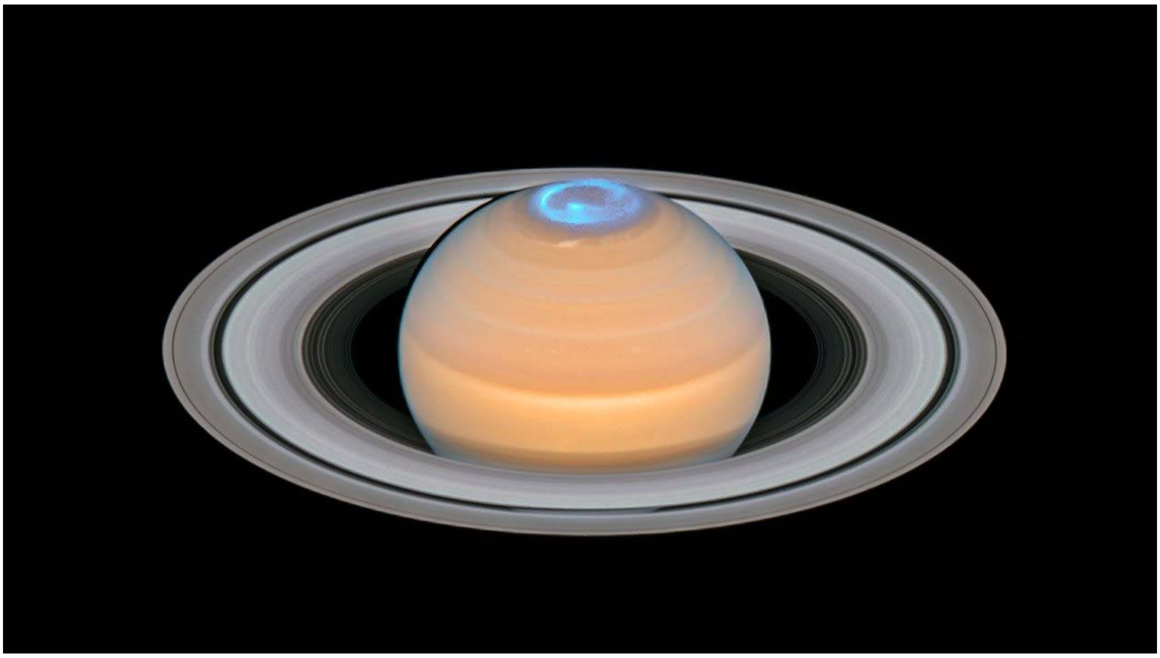
Viento solar VS magnetosfera



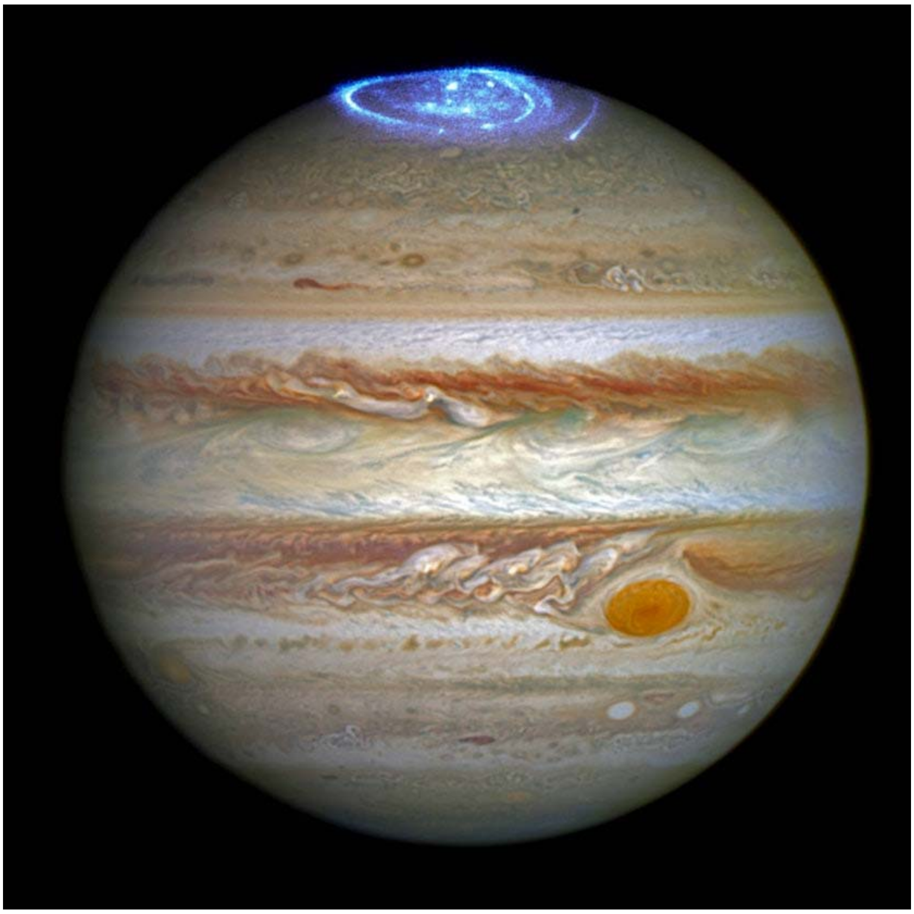
Auroras



Auroras



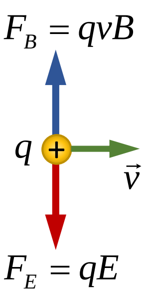
Auroras

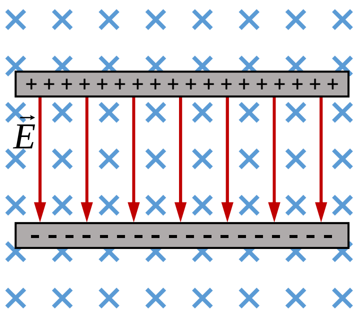


Aplicaciones de la fuerza magnética sobre una carga puntual

Selector de velocidades Dos electrodos crean un campo eléctrico, y se añade un campo magnético perpendicular a éste

Contrarresta la fuerza eléctrica con la magnética, de forma que la carga no altera su trayectoria (y puede atravesar el selector sin chocar con las paredes)





$\vec{B}$ hacia dentro

$$\vec{F}_{total} = \vec{F}_E + \vec{F}_B = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} = 0$$

$$F_E = F_B \longrightarrow qE = qvB \longrightarrow \boxed{v = \frac{E}{B}}$$

Para pasar, una partícula debe tener esta velocidad (si no, choca)

Para velocidades **mayores**, la fuerza magnética será **mayor** ⟶ Se desvía hacia **arriba**

Para velocidades **menores**, la fuerza magnética será **menor** ⟶ Se desvía hacia **abajo**

NOTA: Da igual la carga o la masa de la partícula!!

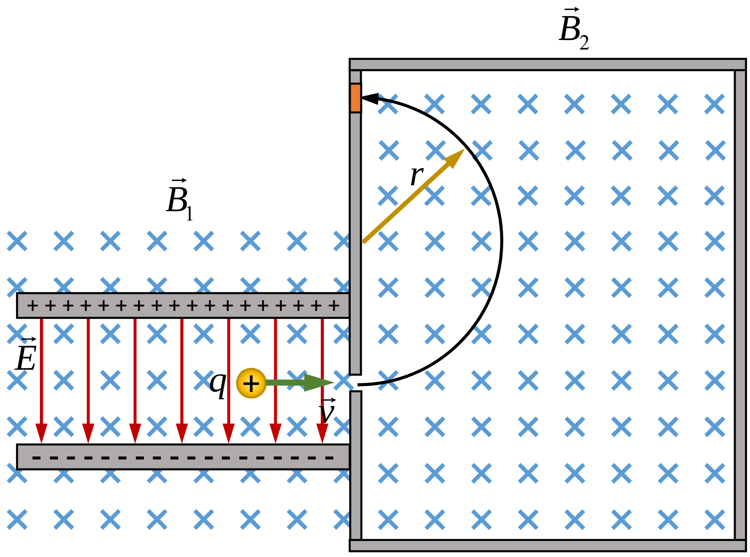
¿Y si la carga fuera negativa?

NOTA 2: Al seleccionar la velocidad, seleccionamos la energía cinética (si sabemos la masa)

Aplicaciones de la fuerza magnética sobre una carga puntual

Espectrómetro de masas Al final de un selector de velocidades se añade una zona con otro campo magnético

La partícula sale con una velocidad fija del selector de velocidades, y entra en una zona donde su trayectoria se va a curvar hasta dar con un detector



$$r = \frac{mv}{qB_2} = \frac{mE}{qB_1B_2}$$

$$v = \frac{E}{B_1}$$

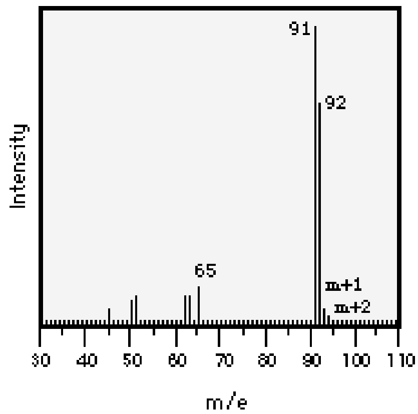
Así,

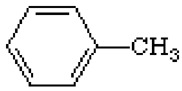
$$\boxed{r = \frac{m}{q}\frac{E}{B_1B_2}}$$

Dependiendo de su relación masa/carga, una partícula dará o no en el detector

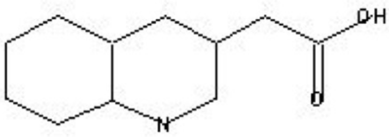
Ejercicios 4.1 a 4.3 (y XXI.11-17 y XXI.20-23 del Burbano)

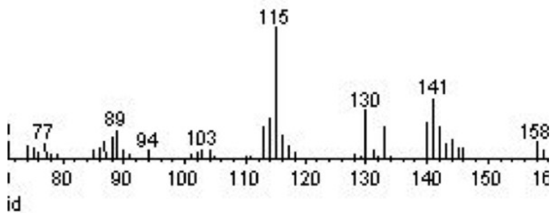
FICHA 20

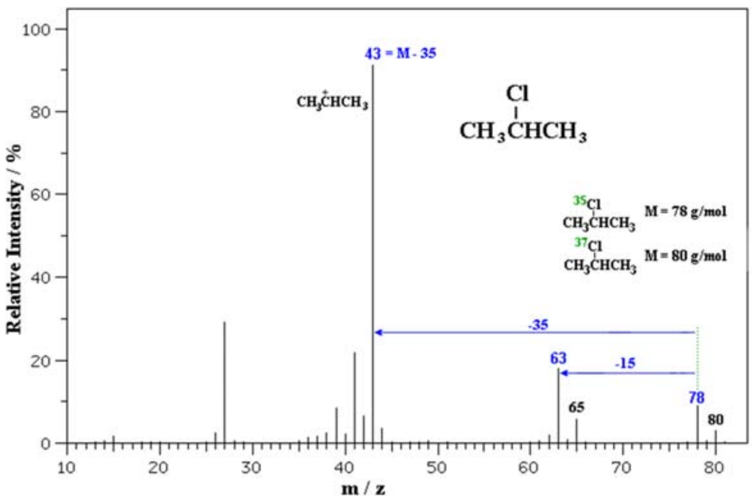




Toluene

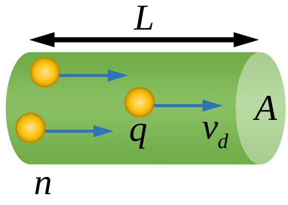






Fuerza sobre un conductor

Cuando circula corriente, la fuerza total es la suma de las fuerzas sobre cada carga que se mueve por el conductor



$$\vec{F} = \vec{F}_{1carga} N_{cargas} = \left(q\vec{v}_d \times \vec{B}\right) nAL$$

Usando que $I = nqv_d A$

Y definiendo $\vec{L}$ como un vector con $\begin{cases} \text{módulo } L \\ \text{dirección de } \vec{v}_d \end{cases}$

Tenemos que

$$\vec{F} = \left(q\vec{v}_d \times \vec{B}\right) nAL \underset{\vec{v}_d = v_d \hat{v}_d}{=} nqv_d A\left(L\hat{v}_d \times \vec{B}\right) \longrightarrow \boxed{\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}}$$

Si el hilo conductor se curva, o si B no es constante en el espacio, hay que integrar:

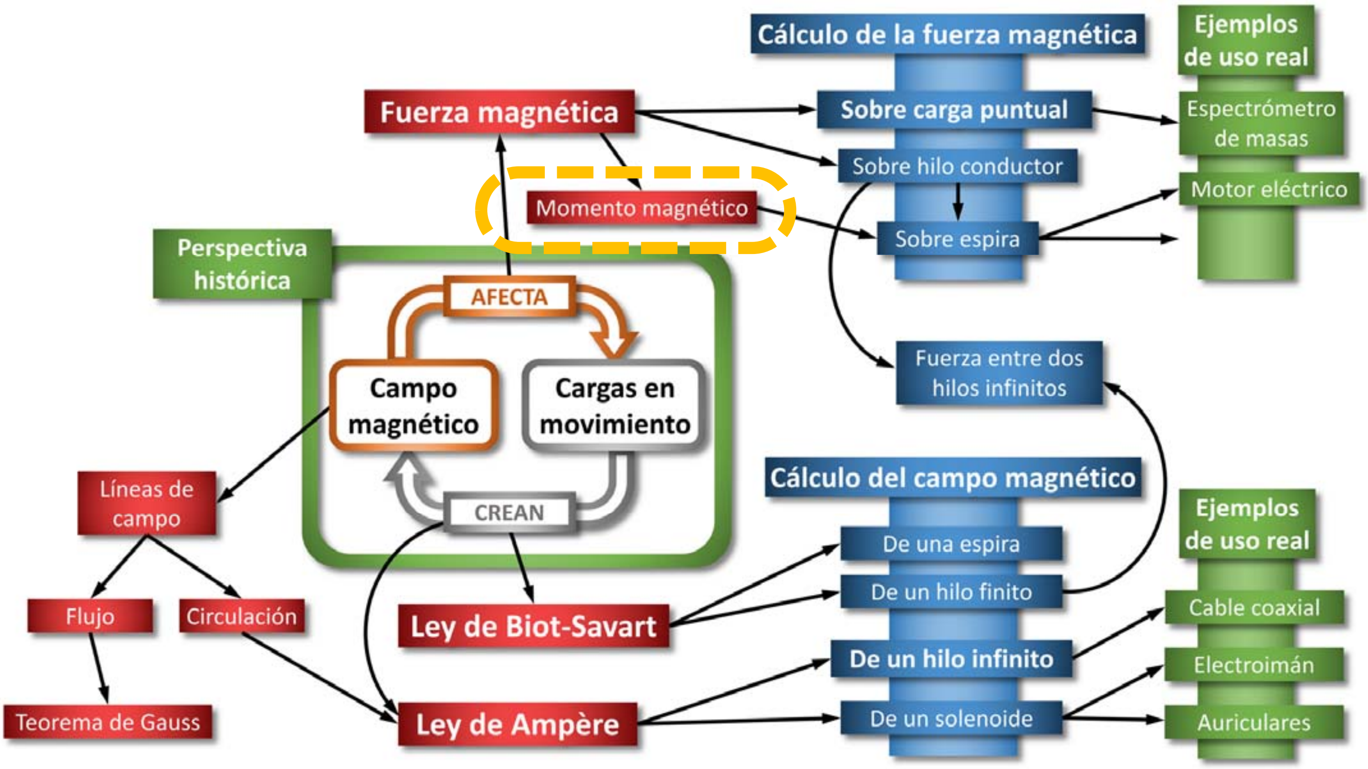
Sobre un elemento de conductor $d\vec{\ell}$ actuará una fuerza $d\vec{F}$

$$\boxed{d\vec{F} = Id\vec{\ell} \times \vec{B}} \longrightarrow \vec{F} = \int d\vec{F} = \int Id\vec{\ell} \times \vec{B}$$

Ejercicios 4.4 (y XXI.4-3 y XXI.7 del Burbano)

FICHA 21

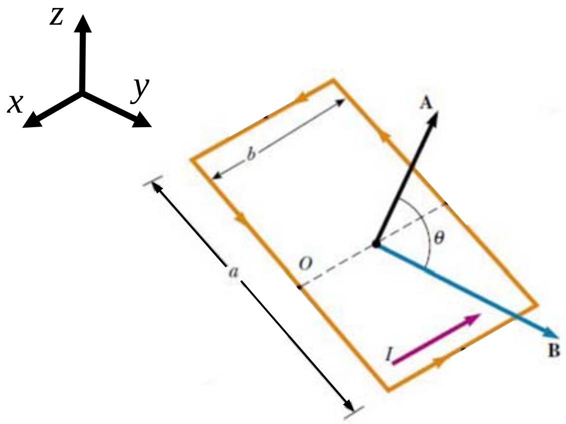
Bloque I: Electricidad | **Bloque II: Magnetismo** | **Bloque III: Ondas y Óptica**



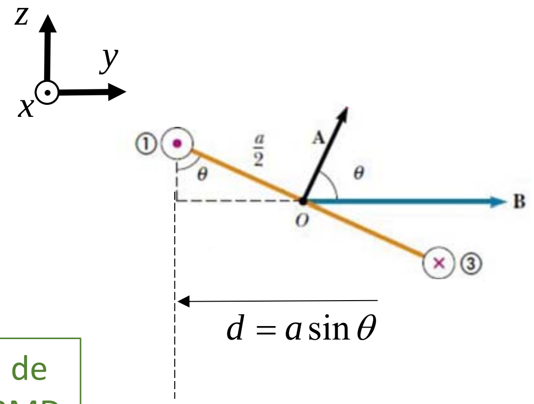
PREGUNTA: ¿Cómo funciona un motor eléctrico?

HACER HIPÓTESIS POR GRUPOS

Momento sobre una espira



Dirección de fuerzas: RMD



Espira con corriente I en el seno de un campo magnético constante $\vec{B}$ ⟶ $\boxed{\vec{F}_i = I\vec{L}_i \times \vec{B}}$

$\sum_i \vec{F}_i = 0$ ⟶ El centro de masas no se mueve ⟶ Pero puede girar!

Las fuerzas F_1 y F_3 ejercen un momento de rotación sobre la espira:

$$\tau = Fd \underset{\uparrow}{=} IbBa\sin\theta = IAB\sin\theta \longrightarrow \boxed{\vec{\tau} = IA\hat{n}\times\vec{B} \equiv \vec{\mu}\times\vec{B}}$$

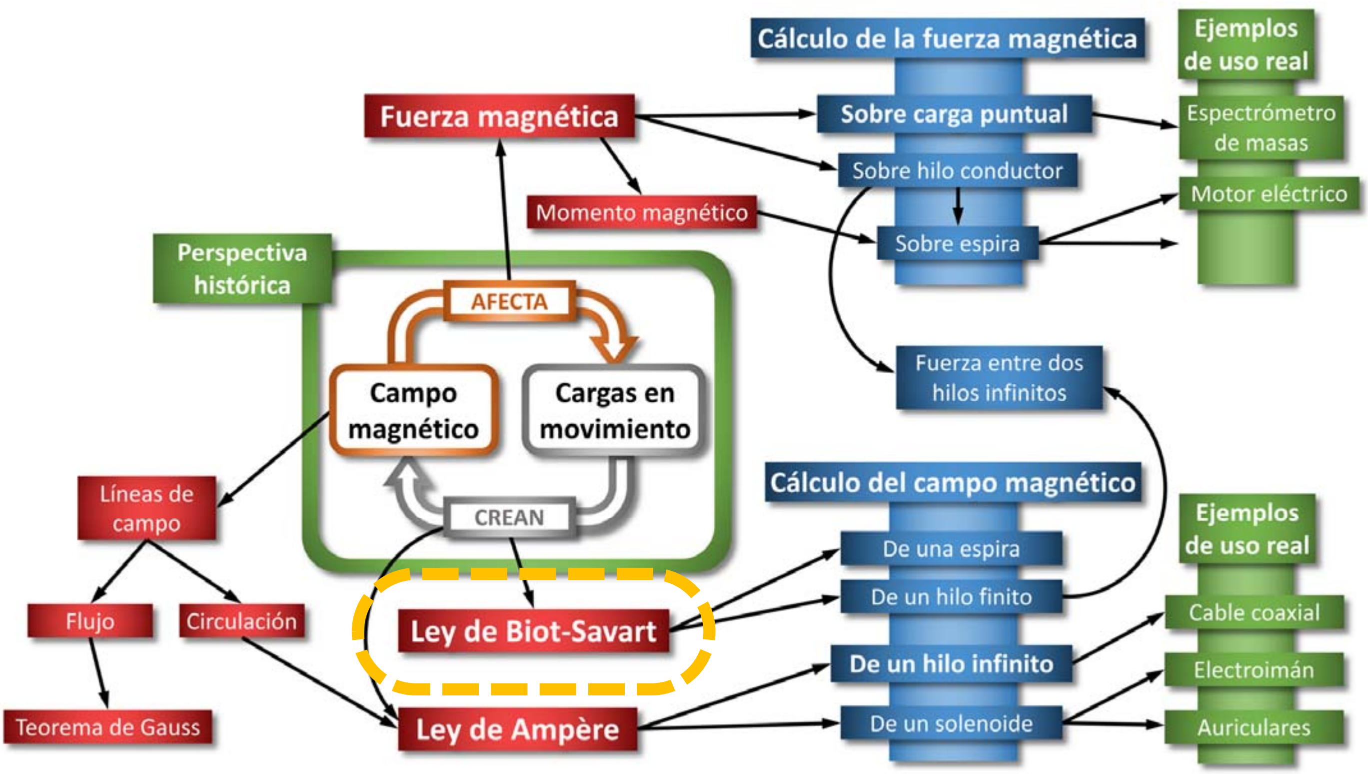
$F = IbB$

Definición: **Momento dipolar magnético de una espira**: $\boxed{\vec{\mu} \equiv IA\hat{n}}$

El momento dipolar de cualquier imán tiende a alinearse con el campo (brújula, p.ej.)

Motor eléctrico

Ejercicio 4.8


Cálculo de la fuerza magnética
Ejemplos de uso real
Fuerza magnética
Sobre carga puntual
Espectrómetro de masas
Sobre hilo conductor
Motor eléctrico
Momento magnético
Sobre espira
Perspectiva histórica
AFECTA
Campo magnético
Cargas en movimiento
Fuerza entre dos hilos infinitos
Líneas de campo
CREAN
Cálculo del campo magnético
Ejemplos de uso real
De una espira
De un hilo finito
Flujo
Circulación
Ley de Biot-Savart
Cable coaxial
De un hilo infinito
Electroimán
Teorema de Gauss
Ley de Ampère
De un solenoide
Auriculares

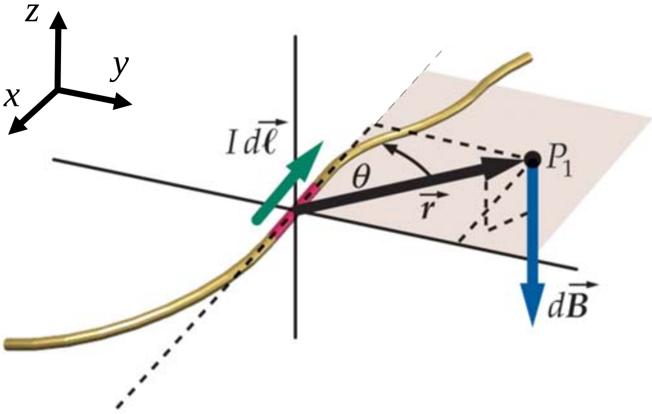
PREGUNTA: ¿Cómo funciona un electroimán?

HACER HIPÓTESIS POR GRUPOS

FÍSICA II
Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior

Las corrientes como fuentes de campo magnético: Ley de Biot-Savart

Nos dice el campo magnético que genera un conductor por el que pasa una corriente



$$\boxed{d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I d\vec{\ell}\times\hat{r}}{r^2}}$$

$\hat{r}$ Vector unitario en dirección de $\vec{r}$

$d\vec{B}$ Campo magnético

$I d\vec{\ell}$ Elemento de corriente Fuente de $d\vec{B}$

μ_0 Permeabilidad del vacío

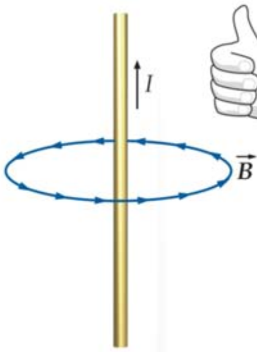
$\mu_0 = 4\pi\times 10^{-7}$ Tm/A

$$\boxed{\left|d\vec{B}\right| = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I d\ell \sin\theta}{r^2}}$$

Producto vectorial:

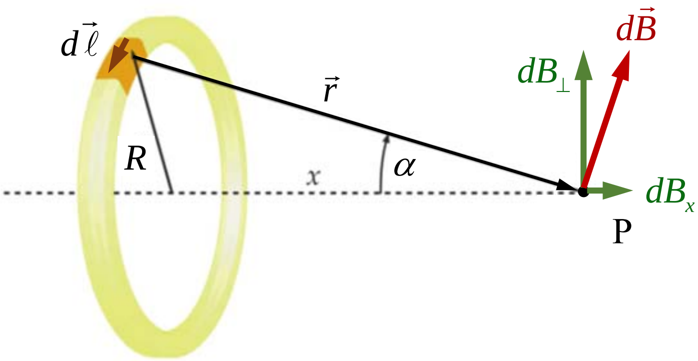
$d\vec{B}$ es perpendicular a $I d\vec{\ell}$ y $\vec{r}$

Sentido de $d\vec{B}$:regla de la mano derecha



Ejemplo Biot-Savart 1 **Campo magnético en eje de espira** **FICHA 22**

DATOS: $I \quad R \quad x$



Por Biot y Savart: $\boxed{d\vec{B} = \dfrac{\mu_0}{4\pi} \dfrac{I d\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2}}$

$$dB = \left| d\vec{B} \right| = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\ell}{r^2}$$

$d\vec{\ell} \perp \vec{r}$

La componente $dB_\perp$ va a anularse al integrar → Nos quedamos con dB_x

Ponemos r en función de los datos: $r = \sqrt{x^2 + R^2}$

$$dB_x = dB \sin\alpha = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\ell}{r^2} \frac{R}{r} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\ell R}{\left(x^2 + R^2\right)^{3/2}}$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} \int_0^{2\pi R} d\ell = \frac{\mu_0}{2} \frac{I}{R}$$

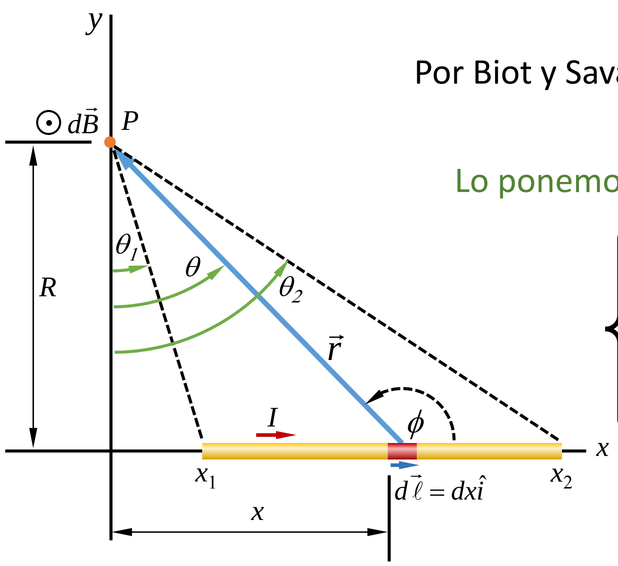
$x = 0$ (centro)

$$B = B_x = \int dB_x = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\ell R}{\left(x^2 + R^2\right)^{3/2}} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IR}{\left(x^2 + R^2\right)^{3/2}} \int_0^{2\pi R} d\ell = \boxed{\frac{\mu_0}{2} \frac{IR^2}{\left(x^2 + R^2\right)^{3/2}}}$$

Ejercicios XXI.34 y 39 del Burbano

¿Y en el centro de la espira?

Ejemplo Biot-Savart 2 **Campo magnético de cable finito**



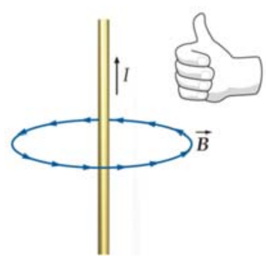
Por Biot y Savart: $\boxed{d\vec{B} = \dfrac{\mu_0}{4\pi} \dfrac{I d\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2}}$ → $dB = \dfrac{\mu_0}{4\pi} \dfrac{I dx \sin\phi}{r^2}$

Lo ponemos todo en función de R, I y θ

$$\begin{cases} \phi = \theta + 90^\circ & \rightarrow \quad \sin\phi = \sin\left(\theta + 90^\circ\right) = \cos\theta \\ x = R\tan\theta & \rightarrow \quad dx = R \dfrac{1}{\cos^2\theta} d\theta \\ r^2 = \dfrac{R^2}{\cos^2\theta} & \end{cases}$$

$$\rightarrow \quad dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R} \cos\theta \, d\theta$$

Integrando:



$$B = \int dB = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R} \cos\theta \, d\theta = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R} \left[\sin\theta\right]_{\theta_1}^{\theta_2} = \boxed{\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R} \left(\sin\theta_2 - \sin\theta_1\right)}$$

Ejercicios XXI.26 y 30 del Burbano

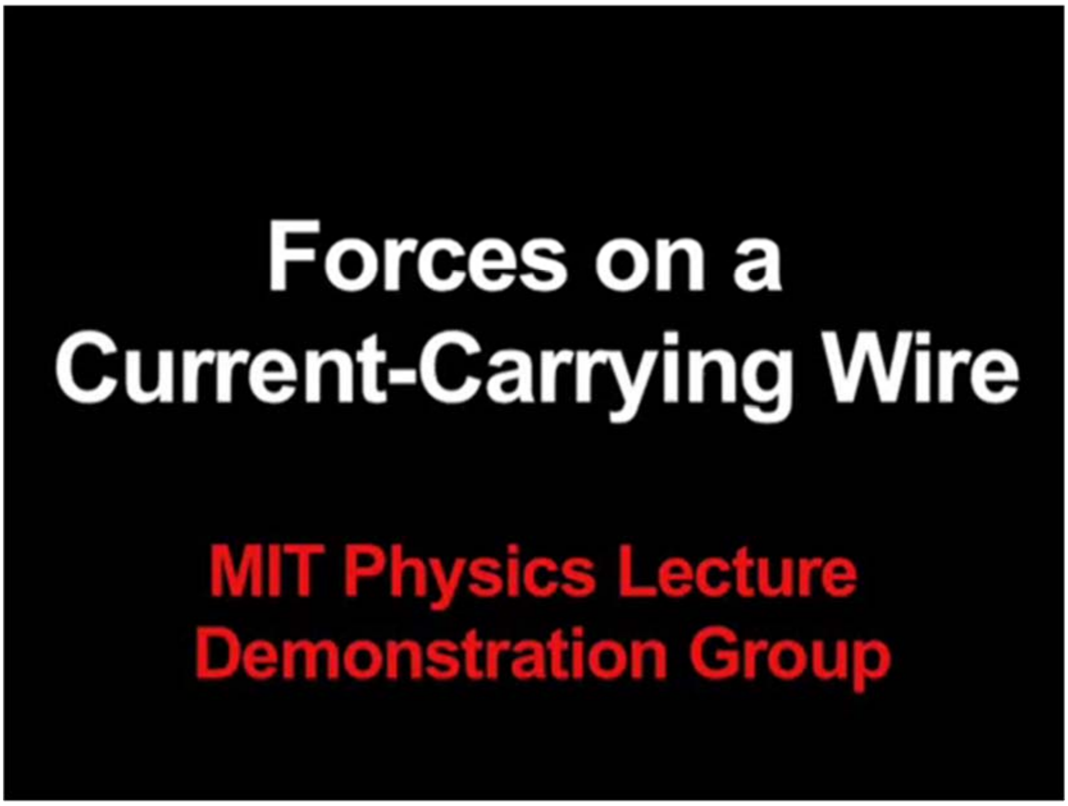
En el límite de un <u>**cable infinito**</u>: $\left.\begin{array}{l} \theta_1 = -90^\circ \\ \theta_2 = +90^\circ \end{array}\right\}$ → $\boxed{B = \dfrac{\mu_0}{2\pi} \dfrac{I}{R}}$

Se usa **MUCHO!!**

Ejercicios 5-7 (y XXI.28-29 del Burbano)

¿y punto en el eje?

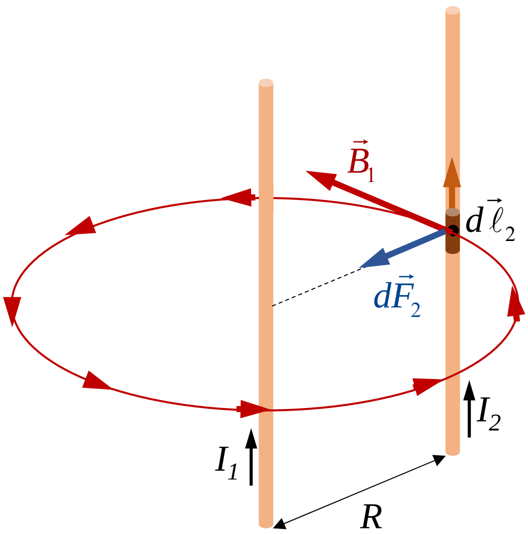
FICHA 23-a y b



PREGUNTA: ¿Qué está pasando aquí?

HACER HIPÓTESIS POR GRUPOS

Fuerza entre dos conductores de corriente paralelos



¿Qué va a pasar aquí?

Para concretar, vamos a fijarnos en el efecto que el conductor 1 tiene sobre el conductor 2:

El conductor 1, por llevar una corriente (I_1), va a crear un campo magnético propio ($\vec{B}_1$) RMD

$$\left|\vec{B}_1\right| = B_1 = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I_1}{R}$$

Aprox. Hilo infinito

Ese campo magnético va a afectar a cada elemento del conductor 2 ($d\vec{\ell}_2$), creando una fuerza magnética sobre él ($d\vec{F}_2$) RMD

$$d\vec{F}_2 = I_2 d\vec{\ell}_2 \times \vec{B}_1 \longrightarrow dF_2 = I_2 d\ell_2 B_1 = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I_1 I_2}{R} d\ell_2 \longrightarrow \boxed{\frac{dF_2}{d\ell_2} = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I_1 I_2}{R} = \frac{dF_1}{d\ell_1}}$$

Corrientes **paralelas** $\uparrow\uparrow$ ⟶ Conductores se **atraen**

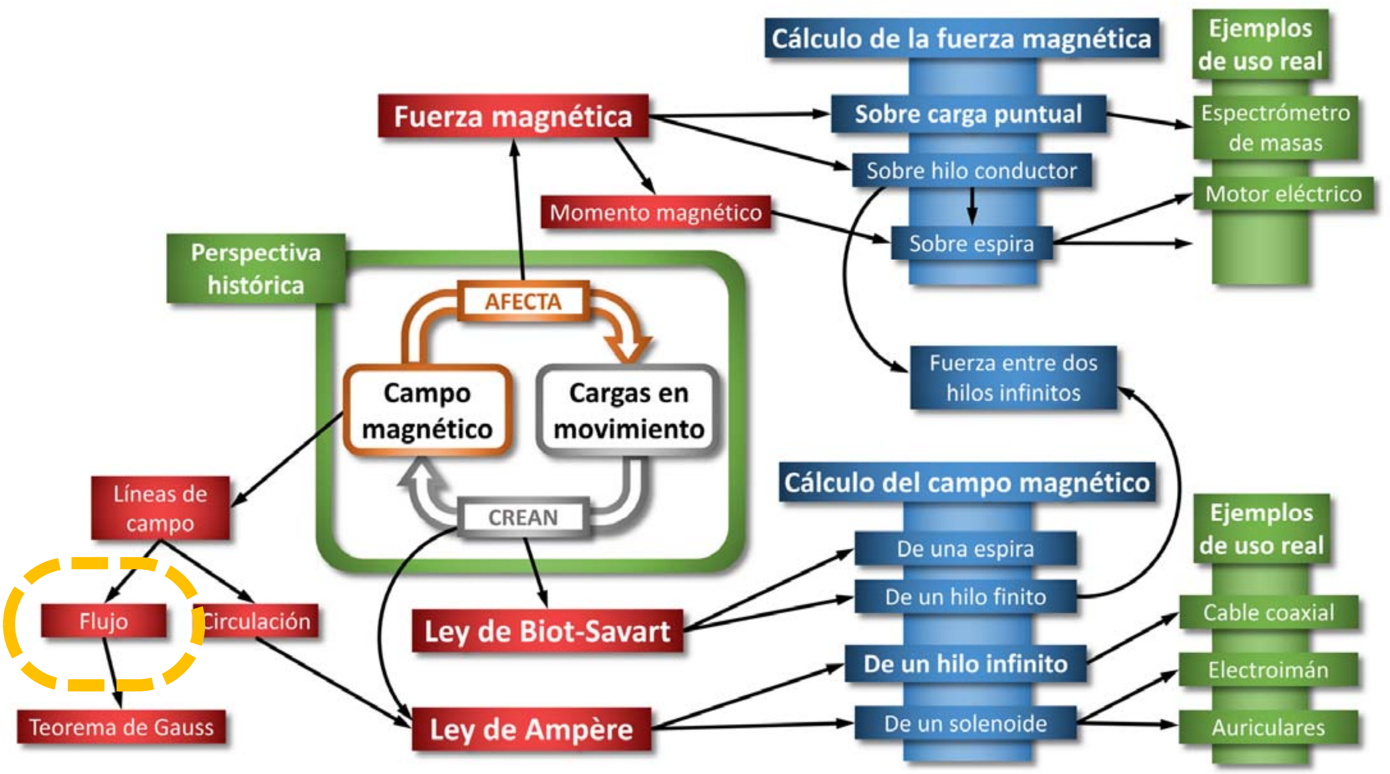
Corrientes **opuestas** $\uparrow\downarrow$ ⟶ Conductores se **repelen**

Ejercicio 4.10 (y XXI.42-43 del Burbano)

FICHA 23 - c

Bloque I: Electricidad | **Bloque II: Magnetismo** | **Bloque III: Ondas y Óptica**

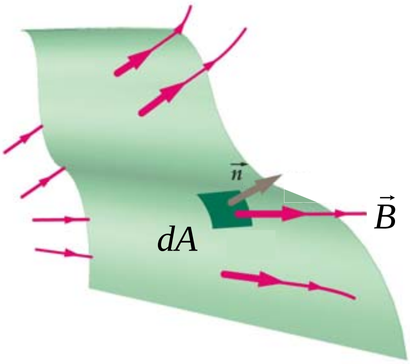
FÍSICA II
Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior



Flujo magnético

Recordad definición de flujo de campo eléctrico

El flujo magnético será proporcional al número de líneas de campo magnético que atraviesan una superficie



Definición:

$$\phi_m = \int_S \vec{B}\cdot\hat{n}\mathrm{d}A = \int_S B_n \mathrm{d}A$$

Unidades: Weber (Wb) (T·m^2)

Teorema de Gauss para el campo magnético

PENSAR: ¿Cuánto vale el flujo magnético a través de una superficie cerrada?

PISTA: Las líneas de campo magnético son siempre líneas cerradas

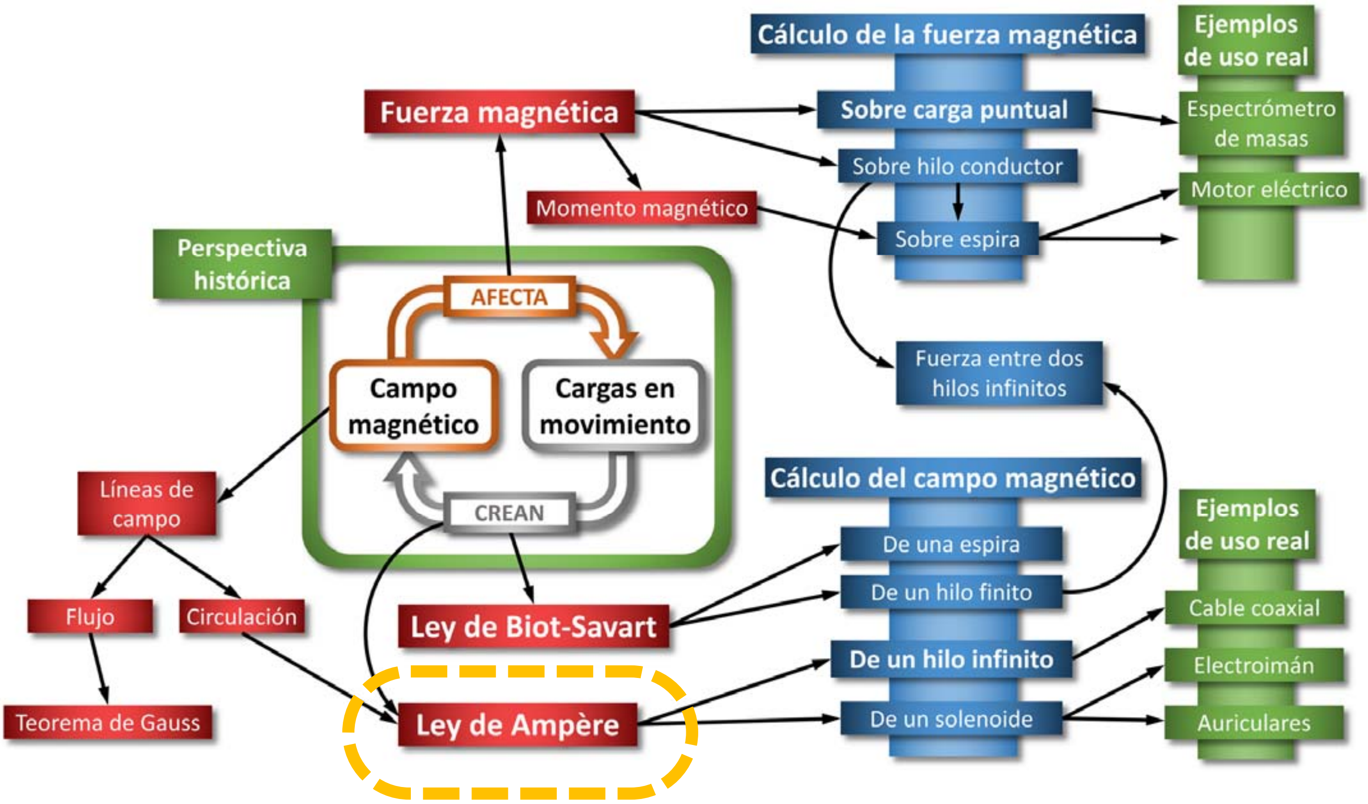
En una superficie cerrada, todas las líneas que entran deben salir

El flujo magnético a través de una superficie cerrada es siempre **cero**:

$$\boxed{\phi_m = \oint_S \vec{B}\cdot\hat{n}\mathrm{d}A = 0}$$

Muy difícil de utilizar para calcular el campo magnético

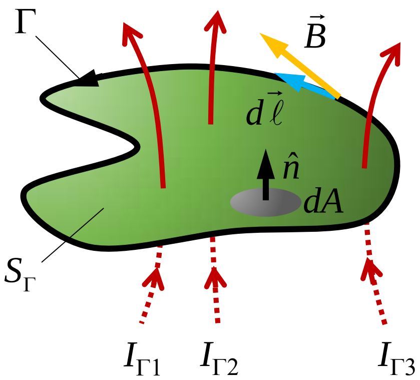
Usaremos otros resultados



PREGUNTA: ¿Cómo funciona un altavoz?

Ley de Ampère

UTILIDAD: Calcular el campo magnético producido por corrientes



Γ → Línea cerrada

S_Γ → Superficie que tiene de borde a la línea cerrada Γ

I_Γ → Corriente que atraviesa la superficie S_Γ

$\vec{B}$ → Valor del campo magnético a lo largo de la línea cerrada Γ

$$\underbrace{\oint_\Gamma \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell}} = \mu_0 \underbrace{\int_{S_\Gamma} \vec{J}\cdot \mathrm{d}\vec{A}} = \mu_0 I_\Gamma \longrightarrow \boxed{\oint_\Gamma \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell} = \mu_0 I_\Gamma}$$

Circulación de $\vec{B}$ a lo largo de Γ: Integral de $\vec{B}$ a lo largo de la línea cerrada Γ

(Similar al cálculo de ΔV para el campo eléctrico)

Flujo de la densidad de corriente $\vec{J}$ a través de la superficie S_Γ

Por la definición de densidad de corriente

Ley de Ampère

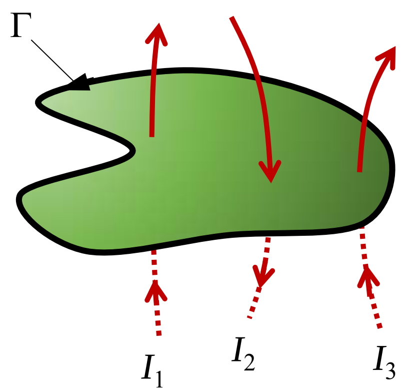
Similar al teorema de Gauss para el campo eléctrico, con alguna diferencia:

$$\boxed{\oint_\Gamma \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell}} = \boxed{\mu_0 I_\Gamma}$$

Integral en una línea cerrada
(no integral en una superficie cerrada)

Las corrientes "dentro de la línea cerrada", es decir, que atraviesan la superficie que forma la línea cerrada
(no las cargas dentro de un volumen)

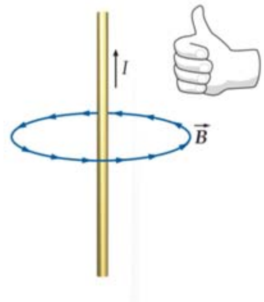
Ejemplo de I_Γ :



Para el signo: la regla de la mano derecha nos define el sentido positivo:

$$\oint_\Gamma \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell} = \mu_0 I_\Gamma = \mu_0\left(I_1 - I_2 + I_3\right)$$

$$I_\Gamma = I_1 - I_2 + I_3$$



PENSAR: ¿Se puede definir un potencial magnético de la misma forma que el potencial eléctrico?

Ley de Ampère

Normalmente se usa en casos donde la **alta simetría** nos permite conocer la forma de las líneas de campo magnético:

$$\oint_\Gamma \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell} = \oint_\Gamma B\,\mathrm{d}\ell = B\oint_\Gamma \mathrm{d}\ell = B L_\Gamma = \mu_0 I_\Gamma \longrightarrow \boxed{B = \frac{\mu_0 I_\Gamma}{L_\Gamma}}$$

Si integramos a lo largo de una línea de campo
$\vec{B} \parallel \mathrm{d}\vec{\ell}$

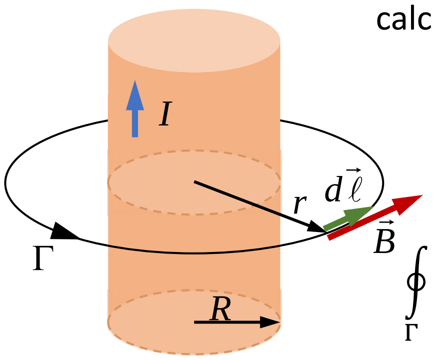
Si sabemos que B es **constante** a lo largo de la línea Γ

Longitud de la línea Γ

Ejemplo Ampère 1

Campo magnético de hilo conductor infinito

Escogemos una línea cerrada Γ que pase por donde queremos calcular el campo ¿Cuál es la dirección del campo?



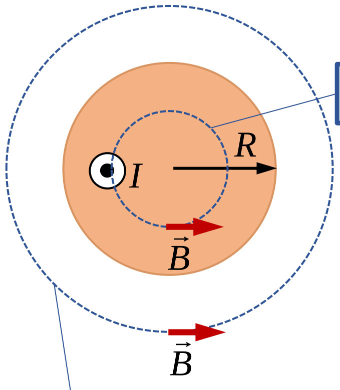
- $\vec{B}$ tiene la misma dirección de $d\vec{\ell}$ (tangente a Γ)
- $\vec{B}$ es constante en Γ (sólo depende de *r*)

$\longrightarrow \vec{B} = B(r)\hat{\tau}$ Así:

$$\oint_\Gamma \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell} = \oint_\Gamma B\,\mathrm{d}\ell = B\oint_\Gamma \mathrm{d}\ell = B L_\Gamma = \mu_0 I_\Gamma \longrightarrow B = \frac{\mu_0 I_\Gamma}{2\pi r}$$

Pero, ¿cuánto vale I_Γ ? Depende de la posición, *r*

Ejemplo Ampère 1 **Campo magnético de hilo conductor infinito**



$$B = \frac{\mu_0 I_\Gamma}{2\pi r}$$

Pero, ¿cuánto vale I_Γ ?
Depende de la posición, *r*

$r < R$

$$I_\Gamma = \int_{S_\Gamma} \vec{J}\cdot \mathrm{d}\vec{A} = J S_\Gamma \longrightarrow I_\Gamma = \frac{I}{\pi R^2}\pi r^2 = \frac{I}{R^2} r^2$$

$$J = \frac{I}{S} = \frac{I}{\pi R^2}$$

Sólo una parte de la corriente I atraviesa la superficie S_Γ

$\vec{J}$ constante en toda la superficie

(de forma muy similar a cuando se calcula la carga a partir de la densidad de carga)

Así, $B = \dfrac{\mu_0 I_\Gamma}{2\pi r} \longrightarrow \boxed{B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r}$ y $\vec{B} = B\hat{\tau}$ antihorario

$r > R$

$I_\Gamma = I$

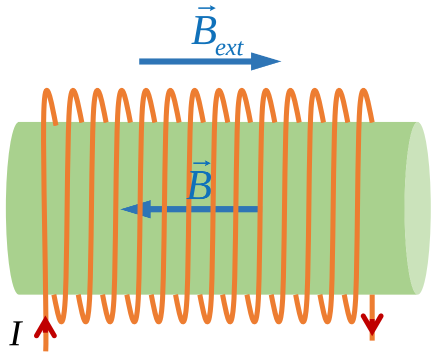
Toda la corriente I atraviesa la superficie S_Γ

Así, $B = \dfrac{\mu_0 I_\Gamma}{2\pi r} \longrightarrow \boxed{B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi r}}$ y $\vec{B} = B\hat{\tau}$ antihorario

Igual que lo que salía al hacerlo por Biot y Savart!

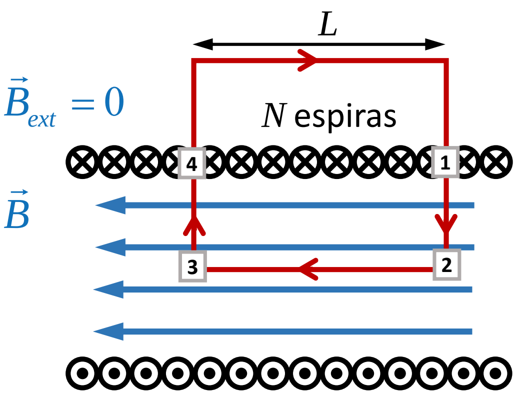
Ejercicio 9 **FICHA 24**

Ejemplo Ampère 2 **Campo magnético de un solenoide (a.k.a. bobina)** RMD



Se puede demostrar, y se comprueba experimentalmente que:

- $\vec{B}$ es constante en el interior del solenoide
- Para un solenoide **esbelto** (mucho más largo que grueso) $\vec{B}_{ext} << \vec{B}$
- En el límite de un solenoide infinito $\vec{B}_{ext} = 0$



Aplicamos la Ley de Ampère: $\boxed{\oint_\Gamma \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell} = \mu_0 I_\Gamma}$

Escogemos una línea cerrada Γ que pase por donde queremos calcular el campo.

$$\oint_\Gamma \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell} = \cancel{\int_1^2 \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell}} + \int_2^3 \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell} + \cancel{\int_3^4 \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell}} + \cancel{\int_4^1 \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell}}$$

$\vec{B} \perp \mathrm{d}\vec{\ell}$ $\quad$ $\vec{B} \perp \mathrm{d}\vec{\ell}$ $\quad$ $\vec{B}_{ext} = 0$

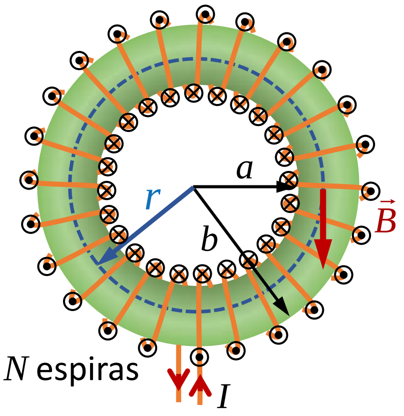
$$\oint_\Gamma \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell} = \int_2^3 \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell} = BL = \mu_0 I_\Gamma = \mu_0 N I \longrightarrow \boxed{B = \mu_0 I \frac{N}{L} = \mu_0 I n}$$

$\vec{B} \parallel \mathrm{d}\vec{\ell}$ $\quad$ Ley de Ampère

n es la densidad de espiras: espiras por unidad de longitud

Ejemplo Ampère 3

Campo magnético de un toroide



Aplicamos la Ley de Ampère: $\boxed{\oint_\Gamma \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_\Gamma}$

Escogemos una línea cerrada Γ, concéntrica al toroide, que pase por donde queremos calcular el campo. RMD

Por simetría, $\vec{B} = B(r)\hat{\tau}$, por lo que $|\vec{B}|$ es constante en Γ.

Podemos calcular la integral fácilmente:

$$\oint_\Gamma \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = B\oint_\Gamma d\ell = B2\pi r = \mu_0 I_\Gamma \longrightarrow B = \frac{\mu_0 I_\Gamma}{2\pi r}$$

Ley de Ampère

Pero, ¿cuánto vale I_Γ ?

$\boxed{r < a}$ $\quad I_\Gamma = 0 \longrightarrow B = 0$

$\boxed{r > b}$ $\quad I_\Gamma = NI - NI = 0 \longrightarrow B = 0$

$\boxed{a < r < b}$ $\quad I_\Gamma = NI \longrightarrow \boxed{B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}}$

Depende de r. Para un toroide con $r >> b\text{-}a$:

Definimos la densidad de espiras como $n = \frac{N}{2\pi r_{medio}}$, con $r_{medio} = \frac{b+a}{2}$ y así:

$$\boxed{B \approx \frac{\mu_0 NI}{2\pi r_{medio}} = \mu_0 nI}$$

Igual que solenoide recto

Ejercicios XXI.48 y 50-54 del Burbano

Gran utilidad: Corriente → Campo magnético → Fuerza → Movimiento

Aplicaciones: Timbres Altavoces Válvulas de solenoide