



*Departamento de Física*  
**Universidad de Jaén**

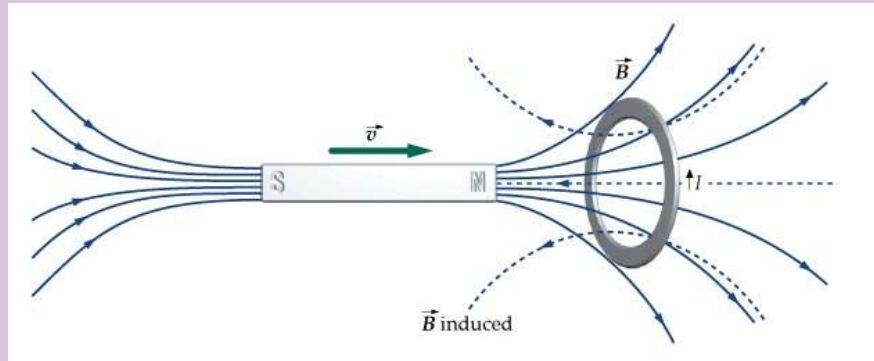
# Magnetismo

- ❖ **Campo Magnético**
- ❖ **Inducción Electromagnética**
- ❖ **Campo Magnético en la materia**



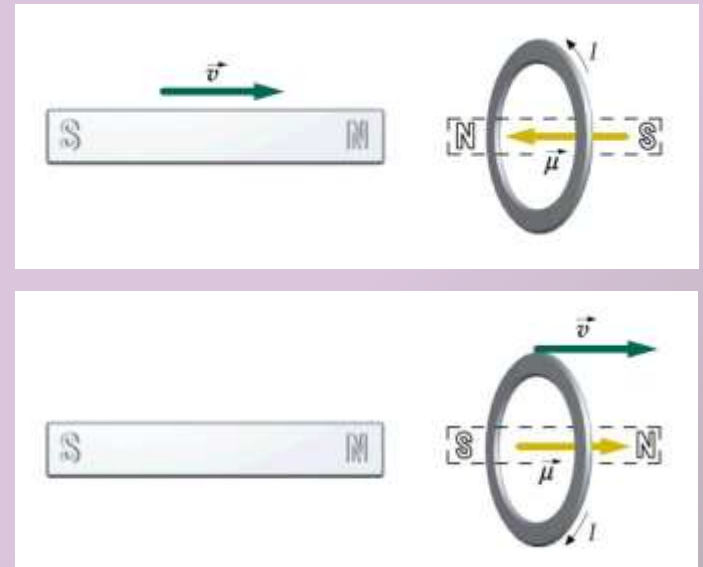
# 1- Introducción

- Faraday y Henry (s. XIX), por separado, observan el siguiente fenómeno:



[Simulación](#)

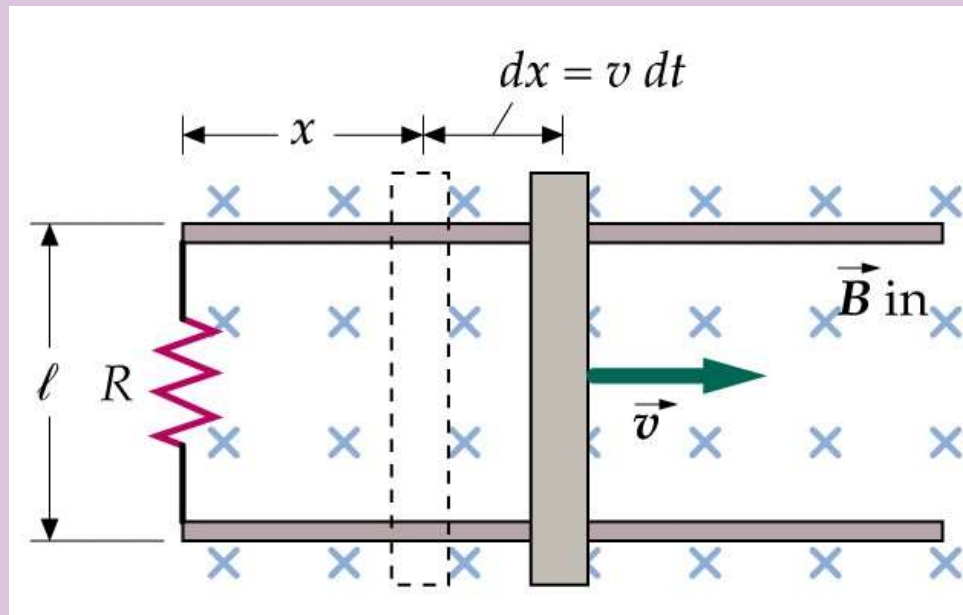
[Simulación phet](#)



- "Un campo magnético variable induce corriente eléctrica en un conductor". O mejor dicho, la variación del número de líneas de campo que atraviesan la espira.

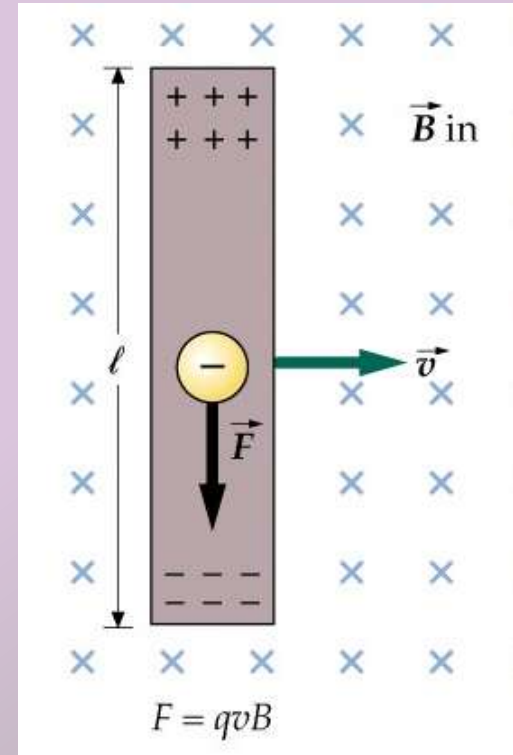
## 2 – Ley de Faraday

- Para calcular esa corriente inducida, consideramos el circuito siguiente con una parte móvil:



[Simulación](#)

$$\vec{f}_m = -e \vec{v} \wedge \vec{B}$$



## 2 – Ley de Faraday

- La fuerza ejercida por el campo magnético sobre los electrones los desplaza hasta la parte baja de la barra, produciendo una diferencia de potencial  $\varepsilon$ , al realizar la fuerza trabajo sobre las cargas:

$$\varepsilon = \frac{E_p}{q} \quad E_p = W = \vec{F} \cdot \vec{l} = q v B l \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = l v B$$

- Esta  $\varepsilon$  constituye una fuerza electromotriz inducida por la variación del flujo magnético en el interior del circuito que podemos expresar como:

$$\varepsilon = l v B = l \frac{dx}{dt} B = \frac{dS}{dt} B \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = \frac{B dS}{dt}$$

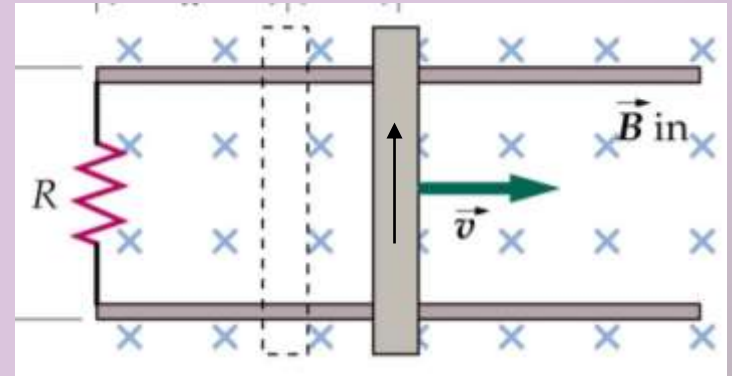
$$\varepsilon = \frac{d\phi}{dt}$$

**Ley de Faraday**

## 2 – Ley de Faraday

- La corriente inducida, como toda corriente en una espira, produce un campo magnético que, por el sentido que hemos visto, se opone al externo.

Este efecto es contrario a su causa, que aumentaba el flujo que atraviesa la espira. Por tanto, la corriente inducida intenta mantener el flujo dentro de la espira como estaba (Inercia Magnética).

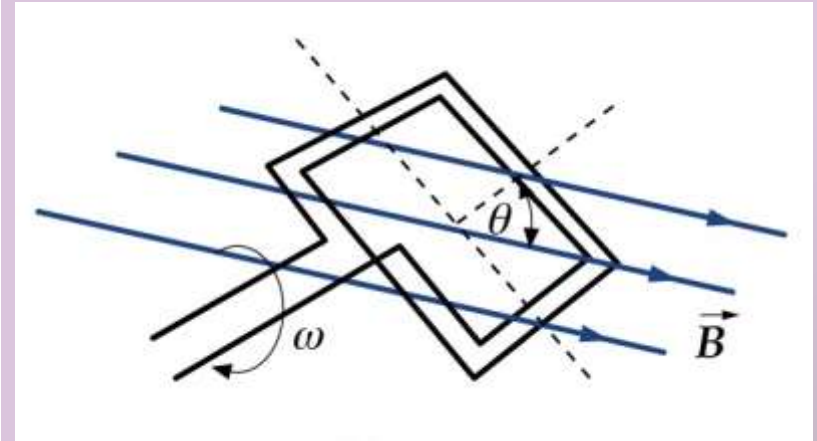
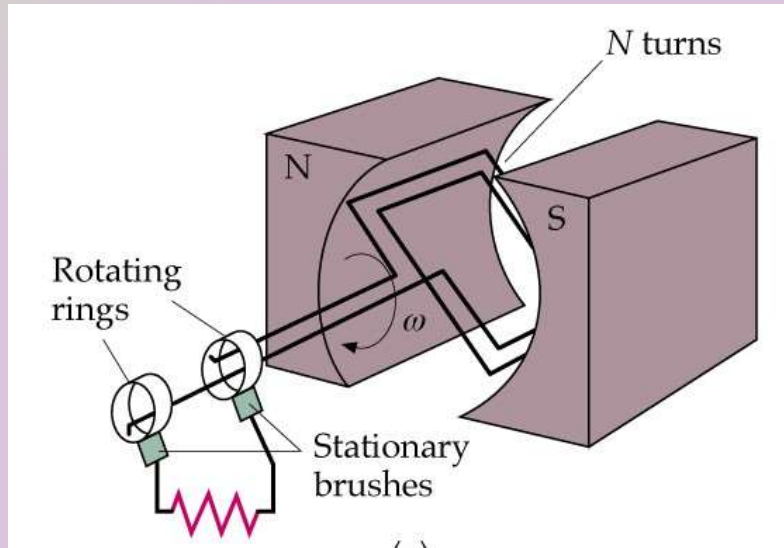


- Por supuesto, si la causa es contraria, también lo es el efecto.

$$\varepsilon = - \frac{d\phi}{dt}$$

**Ley de Lenz**

### 3 – Generador simple de c. a.



$$\theta = \omega t \quad \vec{v} = \vec{\omega} \cdot \vec{R} = \omega \frac{b}{2}$$

- Aplicamos la Ley de Faraday:

$$\varepsilon = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d}{dt} (\vec{B} \cdot \vec{S}) = \frac{d}{dt} (B S \cos \theta) = \frac{d}{dt} (B S \cos \omega t)$$

$$\varepsilon = \omega B S \sin \omega t$$

## 3 – Generador simple de c. a.

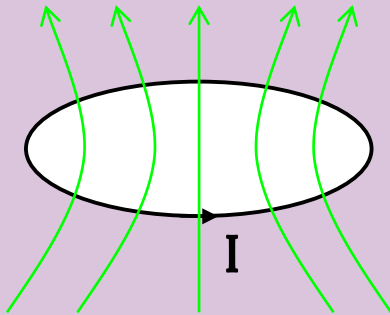
- Este sistema constituye un **Generador simple de c.a.**:

$$\boxed{\varepsilon = \varepsilon_{\max} \text{ Sen } \omega t} \quad \varepsilon_{\max} = \omega S B$$

- Al contrario, si hacemos pasar una c.a. por la espira dentro de un  $B$ 
  - ⇒ esta se moverá con una cierta velocidad angular  $\omega$
  - ⇒ será un **Motor simple de c.a.**

# 4 – Autoinducción

- Si por una espira circular circula una intensidad de corriente variable, el B producido también será variable, y este a su vez, inducirá corriente.



$$B_T = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

$$\phi \propto B \quad \Rightarrow \quad \phi \propto I \quad \phi = L I$$

$$B \propto I$$

- $L \rightarrow$  **Coefficiente de Autoinducción o Inductancia**

$$L = \phi / I \rightarrow 1 \text{ wb} / 1 \text{ A} = 1 \text{ Henrio}$$

**Ejemplo:** Solenoide  $B = \mu_0 n I$

$$\phi = N B S = n l B S = \mu_0 n^2 S l I \quad \Rightarrow \quad L = \mu_0 n^2 S l$$



# 4 – Autoinducción

- Podemos reescribir la Ley de Lenz:

$$\varepsilon = - \frac{d\phi}{dt} = - \frac{d}{dt} L I = - L \frac{dI}{dt} - I \frac{dL}{dt}$$

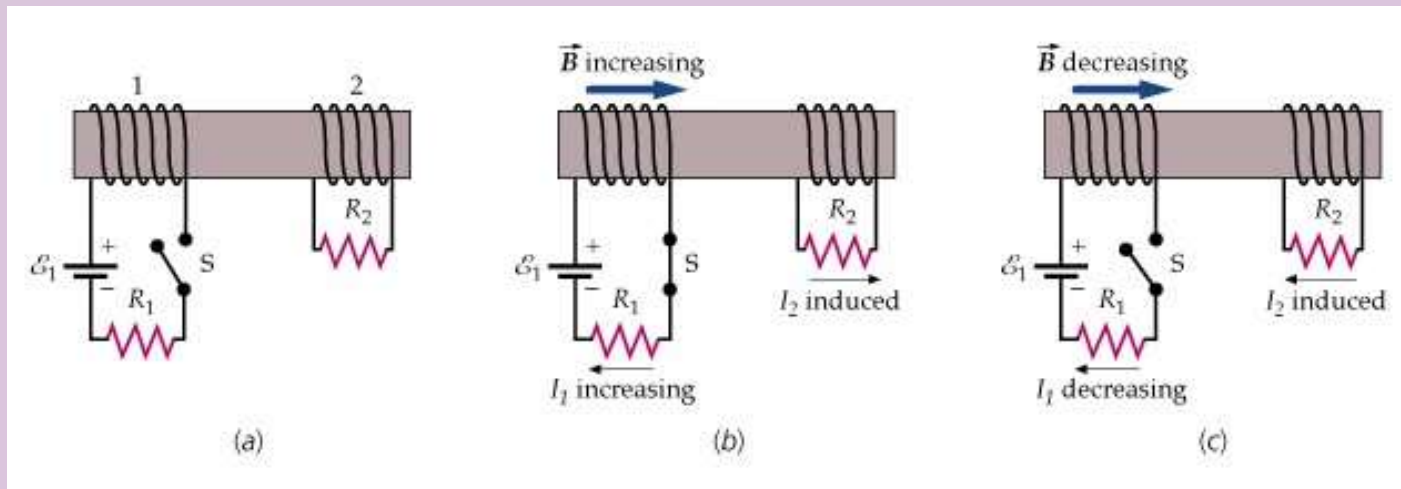
Si L es constante:

$$\varepsilon = - L \frac{dI}{dt}$$

fem autoinducida

# 5 – Inducción mútua

- El flujo magnético de una bobina puede llegar a otra cercana:



$$\phi_2 \propto I$$

$$\phi_2 = M I$$

- $M \rightarrow$  **Coeficiente de Inducción mútua** (sólo depende de la geometría)

- Si  $M$  es constante:

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_2}{dt} = - \frac{d}{dt} M I$$



$$\varepsilon = - M \frac{dI}{dt}$$

# 6 – Energía en un Inductor

- La f.e.m. inducida por una corriente variable se puede considerar mantenida por una fuente de energía (o de Potencia):

$$\varepsilon = L \frac{dI}{dt} \quad P = \varepsilon I = L I \frac{dI}{dt} = \frac{dW}{dt} \Rightarrow dW = LI dI$$

$$W = \int_0^I L I dI$$



$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

- Igual que para un condensador:

$$W = \frac{1}{2} C V^2$$

- Ejemplo:** Solenoide  $L = \mu_0 n^2 S l \rightarrow W = (1/2) \mu_0 n^2 S l I^2$

- Densidad de energía en volumen:

$$U = W/\text{Vol} = (1/2) \mu_0 n^2 I^2$$

$$U = \frac{1}{2} \frac{(\mu_0 n I)^2}{\mu_0} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$$

- Igual que para un condensador:

$$W/\text{Vol} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2$$

# 7 – Circuito RL

- Al conectar el interruptor la corriente aumenta desde cero, por tanto se producirá fem:

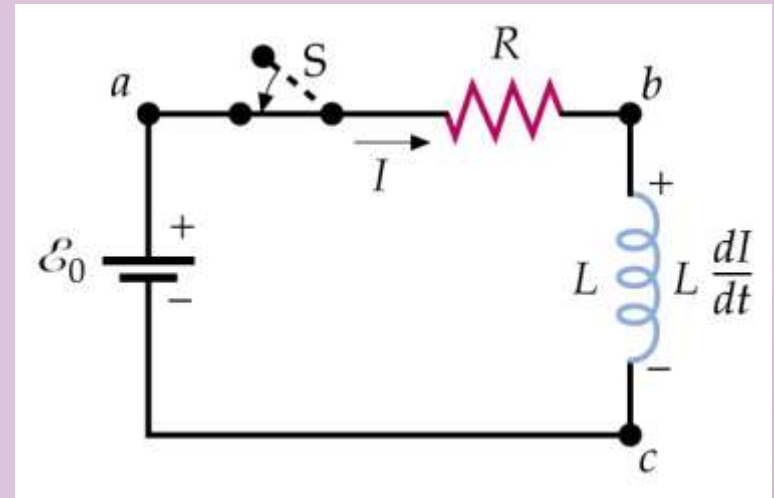
$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$$

- Aplicamos la Ley de Ohm:

$$V - L \frac{dI}{dt} = IR \quad \Rightarrow \quad V - IR = L \frac{dI}{dt} \quad \Rightarrow \quad \int_0^I \frac{dI}{V - IR} = \int_0^t \frac{dt}{L}$$

$$\frac{-1}{R} [\ln(V - IR) - \ln V] = \frac{t}{L} \quad \Rightarrow \quad \ln\left(\frac{V - IR}{V}\right) = -\frac{R}{L} t$$

$$\Rightarrow \quad \frac{V - IR}{V} = e^{-\frac{R}{L} t}$$



# 7 – Circuito RL

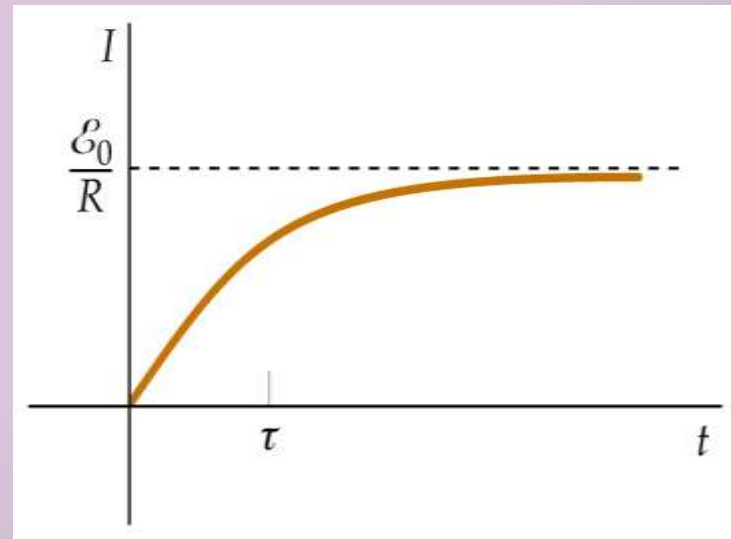
- La expresión que resulta para la corriente:

$$I(t) = \frac{V}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$$

- Denominamos **Constante de tiempo inductiva**:

$$\tau = \frac{R}{L}$$

$$I(t) = \frac{V}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$



# 7 – Circuito RL

- Si desconectamos la fuente y conectamos  $S_2$ , ahora la corriente cae de su valor máximo hasta cero:

$$L \frac{dI}{dt} + IR = 0$$

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = - \int_0^t \frac{R}{L} dt$$

$$\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = - \frac{R}{L} t \quad \Rightarrow \quad I(t) = I_0 e^{-t/\tau}$$

- Siendo  $\tau$ , la Cte. de tiempo ( $L/R$ ).

[Simulación](#)

