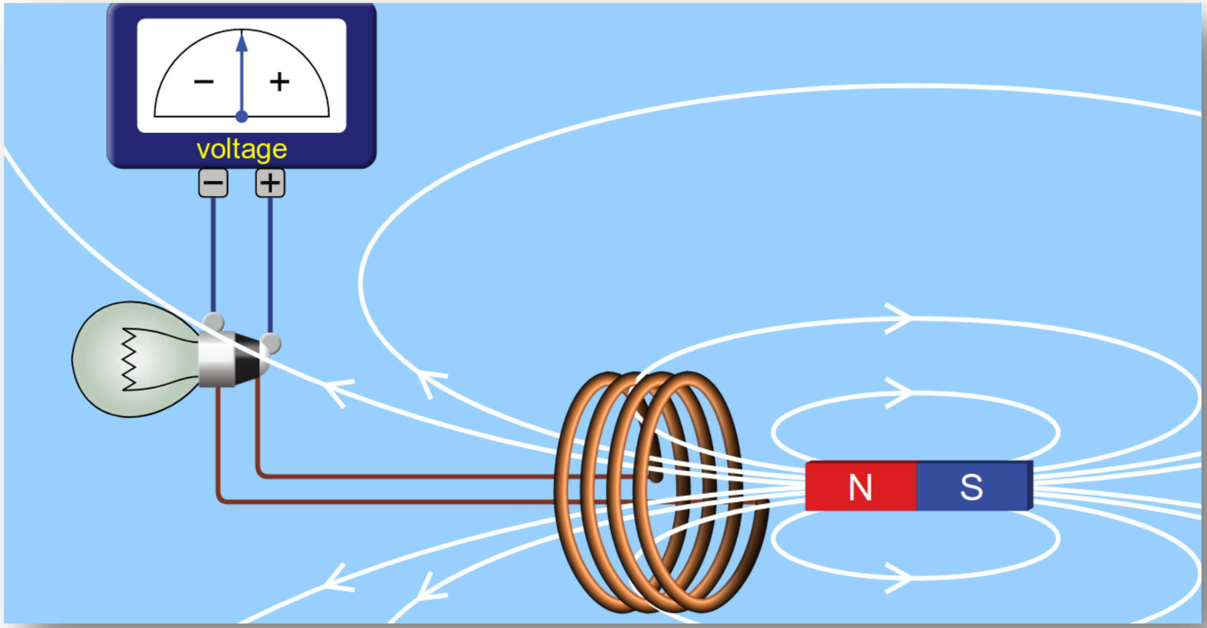
10 . Inducción magnética

Ley de Faraday

FEM inducidas

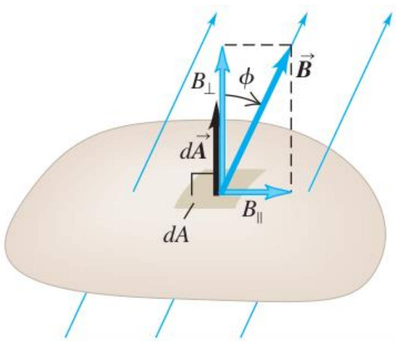
Faraday / Henry



https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_en.html

~1830 Faraday / Henry
Si varía el flujo magnético concatenado por espiras, en ellas se induce una corriente

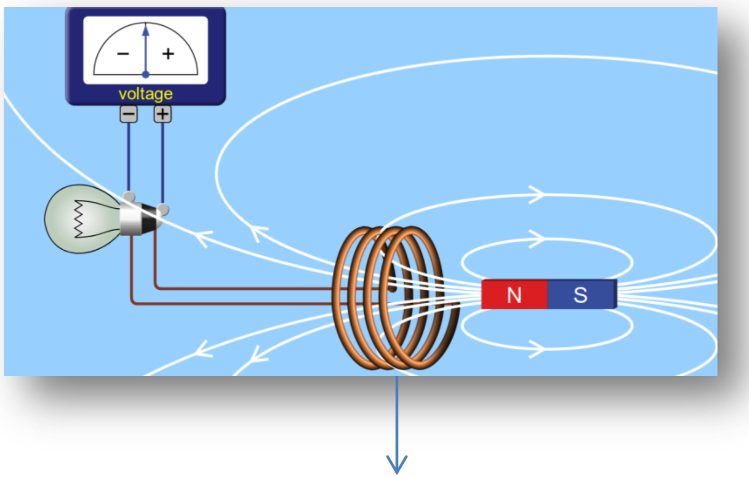
Ley de Faraday



Recordemos el concepto de flujo de un campo vectorial sobre una superficie

$$\phi_M = \iint_S \vec{B}.\hat{n}\, dS$$

$$[\phi_M] = [B][area] = T\, m^2 = Wb$$ Webber



Flujo sobre la bobina ~ N*flujo sobre 1 espira

Explicación del fenómeno

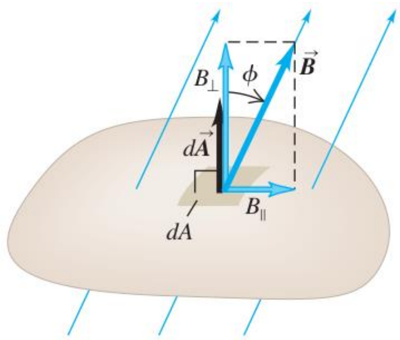
Las cargas comienzan a moverse (i.e. se induce corriente) porque aparece una **F**uerza **E**lectro **M**otriz **inducida**

$$\boxed{\varepsilon = -\frac{d\phi_M}{dt}}$$

Ley de Faraday

La FEM inducida es proporcional a la **tasa de variación en el tiempo** del flujo magnético concatenado por las espiras

Ley de Faraday



$$\phi_M = \iint_S \vec{B}.\hat{n}\, dS$$

El flujo concatenado por una superficie puede **variar en el tiempo** por varias razones

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

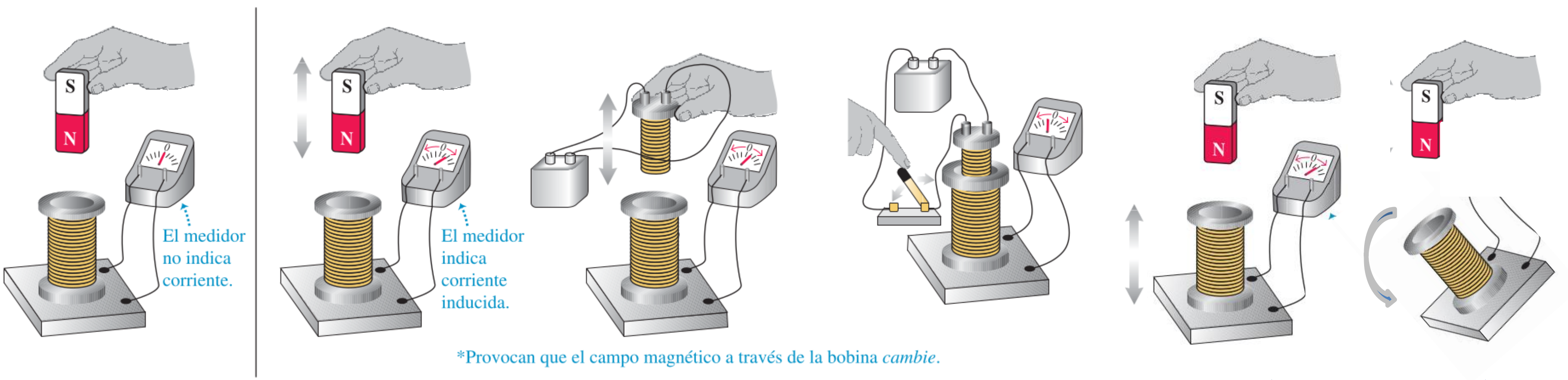
- El campo depende del tiempo $\vec{B} = \vec{B}(t)$
- El campo es constante aunque no uniforme , $\vec{B} = \vec{B}(\vec{r})$ pero la superficie se desplaza hacia regiones que poseen diferentes valores de campo. En este caso dentro de la integral $\vec{B} = \vec{B}(\vec{r}(t))$
- ***B*** es constante, S no se desplazaa PERO cambia la orientación relativa entre $\vec{B}$ y la superficie ($\hat{n} = \hat{n}(t)$)

Ley de Faraday

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_M}{dt} \qquad \phi_M = \iint_S \vec{B}.\hat{n}\, dS$$

El flujo concatenado **no** varía. **No** hay corriente inducida

El flujo concatenado **sí** varía. **Hay** corriente inducida

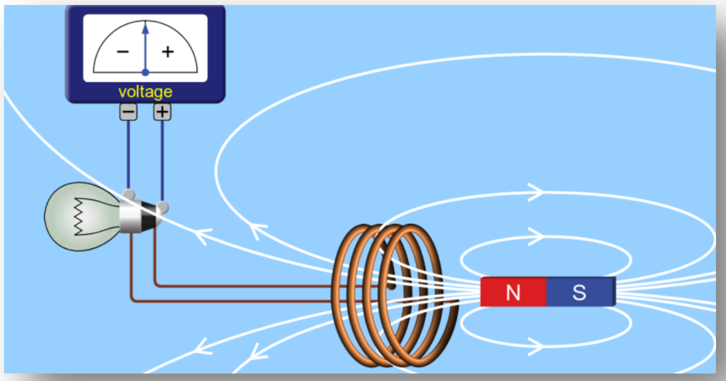


El flujo concatenado varía porque el campo ***B*** que atraviesa la bobina varía en el tiempo

Cambia orientación relativa

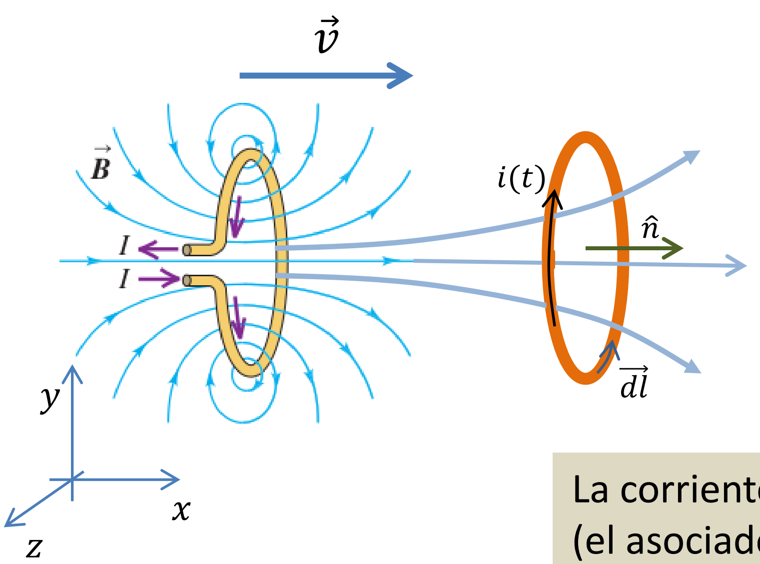
El campo ***B*** se mantiene constante, pero flujo concatenado varía porque la bobina se desplaza hacia zonas de mayor intensidad de ***B***

Hablemos del signo



$$\varepsilon = -\frac{d\phi_M}{dt} \qquad \phi_M = \iint_S \vec{B}.\hat{n}\, dS$$

La FEM inducida **se opone** a la variación de flujo



En este ejemplo:

consideramos $\hat{n} = \hat{x}$ (al hacer esto asignamos sentido de $\overrightarrow{dl}$) $\longrightarrow \dfrac{d\phi_M}{dt} > 0 \longrightarrow \varepsilon < 0$

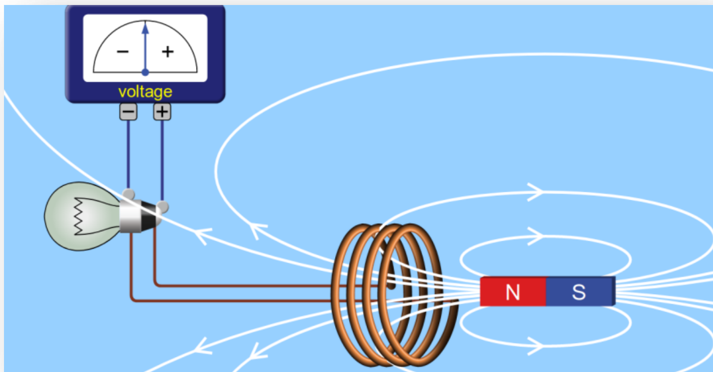
el trabajo realizado (por unidad de carga)sobre las cargas es negativo

$$\varepsilon = \oint \frac{\vec{F}_{nc}}{q}.\overrightarrow{dl} < 0$$

$\Rightarrow \vec{F}_{nc}$ se opone al sentido de los $\overrightarrow{dl}$.

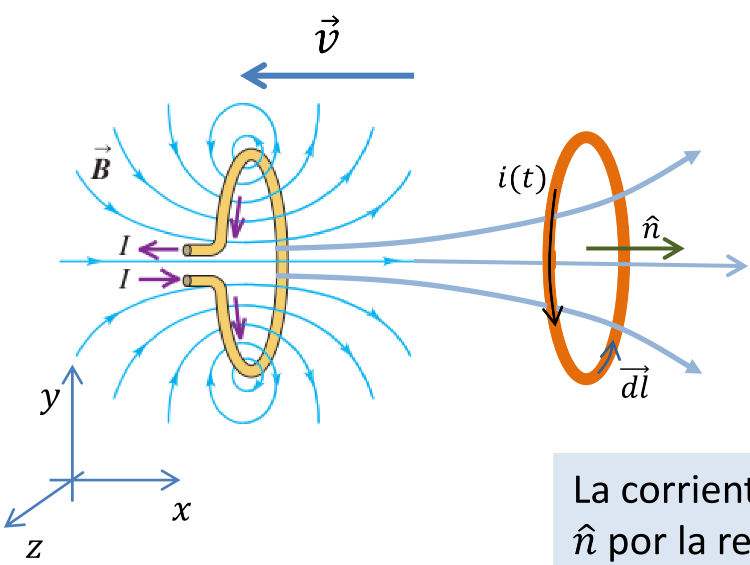
La corriente circula en dirección opuesta al sentido de circulación *natural* (el asociado a $\hat{n}$ por la regla de mano derecha) del circuito

Hablemos del signo



$$\varepsilon = -\frac{d\phi_M}{dt} \qquad \phi_M = \iint_S \vec{B}.\hat{n}\, dS$$

La FEM inducida **se opone** a la variación de flujo



En este ejemplo:

consideramos $\hat{n} = \hat{x}$ (al hacer esto asignamos sentido de $\overrightarrow{dl}$) $\rightarrow$ $\frac{d\phi_M}{dt} < 0$ $\rightarrow$ $\varepsilon > 0$

el trabajo realizado (por unidad de carga)sobre las cargas es negativo

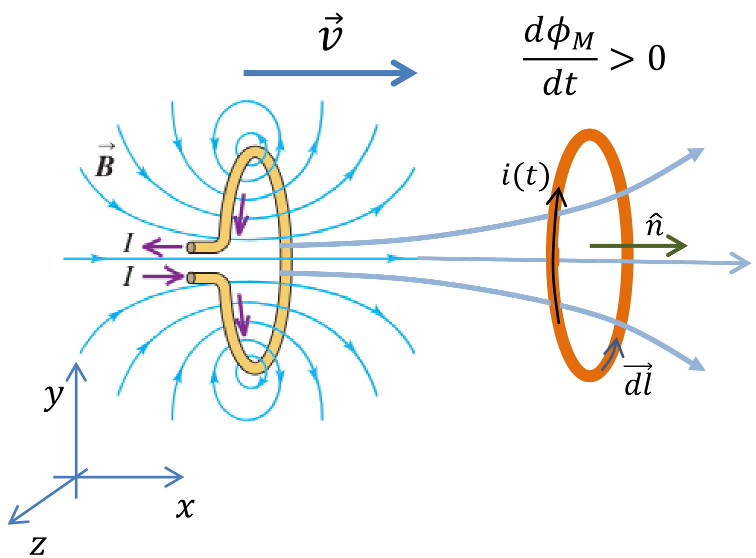
$$\varepsilon = \oint \frac{\vec{F}_{nc}}{q}.\overrightarrow{dl} > 0$$

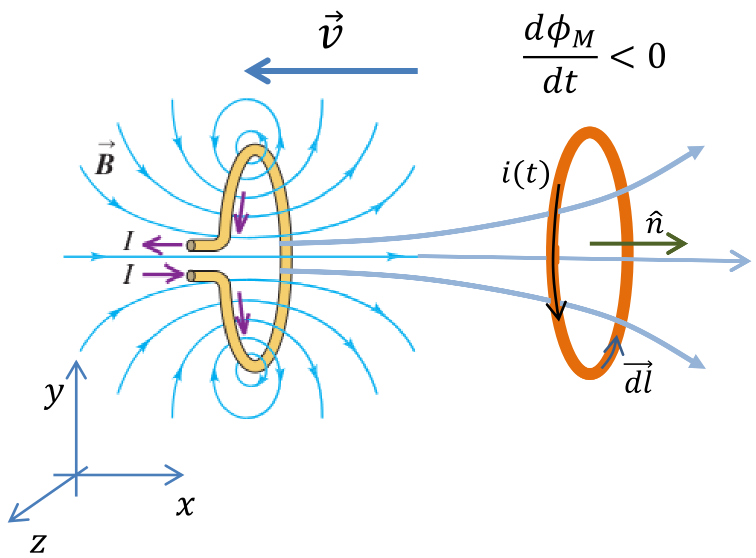
$\Rightarrow$ $\vec{F}_{nc}$ tiene el mismo sentido de los $\overrightarrow{dl}$.

La corriente circula en la dirección de la circulación *natural* (el asociado a $\hat{n}$ por la regla de mano derecha) del circuito

O sea…

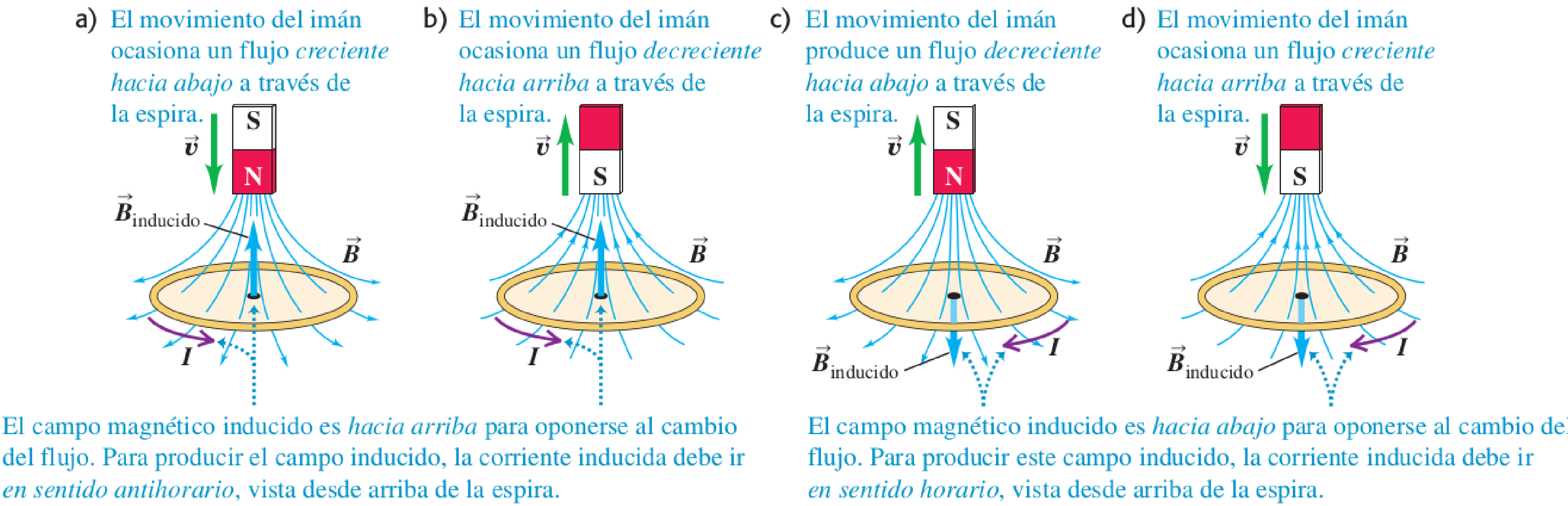
$$\varepsilon = -\frac{d\phi_M}{dt}$$





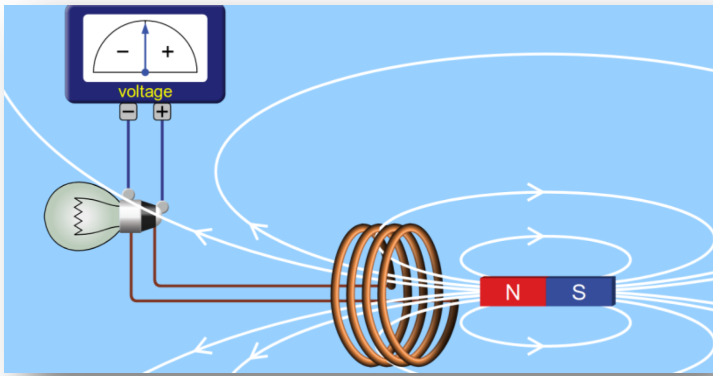
La corriente inducida aparece generando un ***B*** que **se opone al cambio** de flujo

O sea…



La corriente inducida aparece generando un ***B*** que **se opone al cambio** de flujo

Vos me estas diciendo que…?



$$\varepsilon = -\frac{d\phi_M}{dt} \qquad \text{con } \varepsilon = \int \frac{\vec{F}_{nc}}{q} . \overrightarrow{dl}$$

Parecería que la FEM inducida tiene su origen en algo relacionado con ***B***.

Pero cuando vimos fuerza de Lorentz habíamos dicho que ***B*** no podía realizar trabajo

$$\vec{F}_{Lorentz} = q\vec{E}(\vec{r}) + \underline{q\vec{v}\,\mathrm{x}\,\vec{B}(\vec{r})}$$

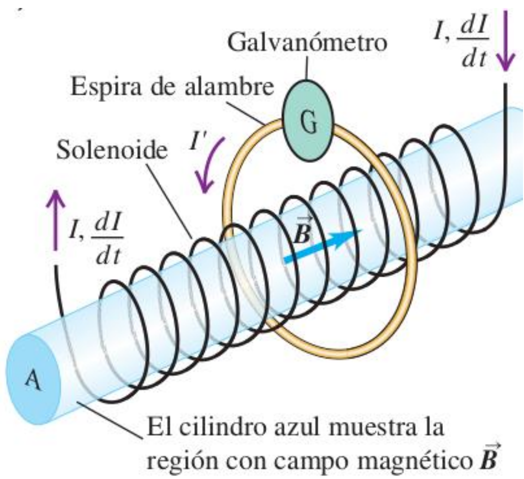
siempre perpendicular al desplazamiento

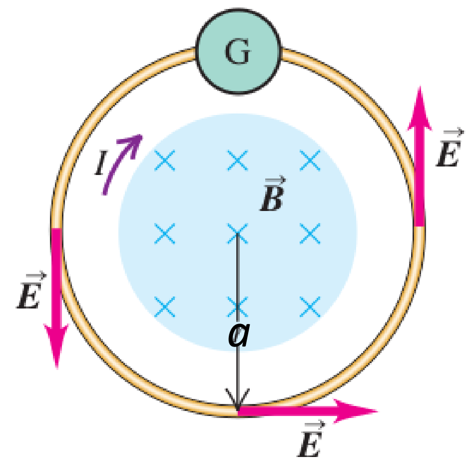
Quién acelera entonces las cargas que se ponen en movimiento al inducirse la corriente?!?!

La respuesta: Variaciones temporales de ***B*** actúan en realidad como **fuentes** de ***E***

O sea…aun en ausencia de cargas va a aparecer un ***E*** en regiones donde ***B*** varíe en el tiempo

Campos eléctricos inducidos





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

$$\oint \frac{\vec{F}_{nc}}{q} . \overrightarrow{dl} = -\frac{d\phi_M}{dt}$$

Asumiendo que aparece un ***E*** **no conservativo**

$$\phi_M = BA = \mu_0 NI\ A$$

$$\oint \vec{E}^{nc} . \overrightarrow{dl} = \oint E_t^{nc} . dl$$

$$= E_t^{nc} . \oint dl$$

$$= E_t^{nc}\ 2\pi a$$

Sobre la espira aparece el campo ***E***

$$\frac{d\phi_M}{dt} = \mu_0 NA \frac{dI}{dt}$$

$$E_t^{nc} = \frac{1}{2\pi a} \left| \frac{d\phi_M}{dt} \right|$$

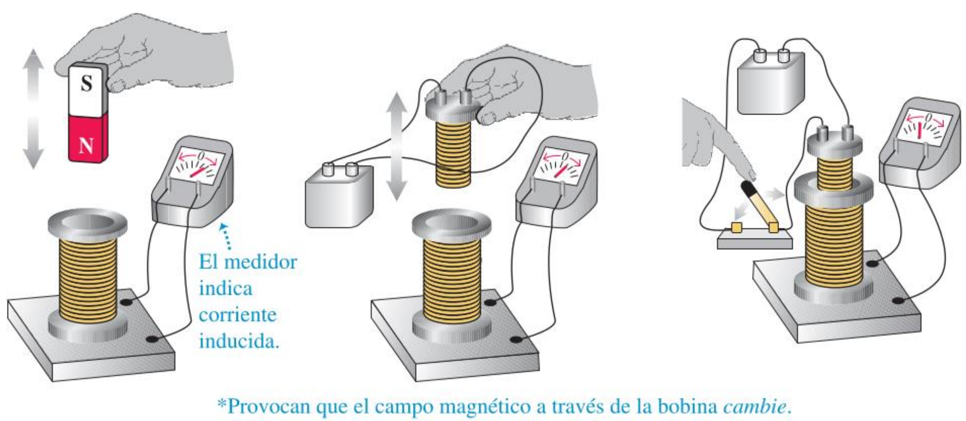
$$= \frac{\mu_0 NA}{2\pi a} \left| \frac{dI}{dt} \right|$$

Ley de Faraday

Una ley, dos FEMs

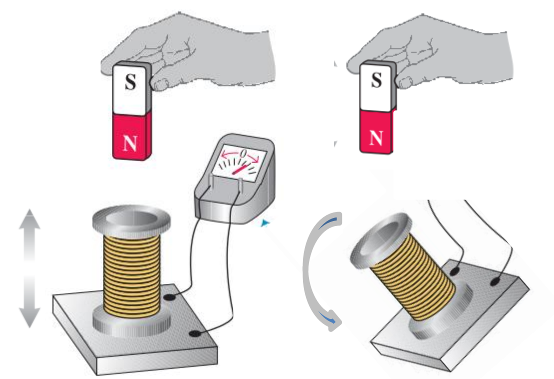
$$\varepsilon = -\frac{d\phi_M}{dt} \qquad \phi_M = \iint_S \vec{B}.\hat{n}\, dS$$

$\vec{B}(t) \rightarrow \frac{d\phi_M}{dt} \rightarrow \vec{E}(t) \rightarrow$ **FEM inducida**



El flujo concatenado varía porque el campo ***B*** que atraviesa la bobina **varía en el tiempo**

$\vec{B}(r)$ +desplazamiento→ **FEM movimiento**



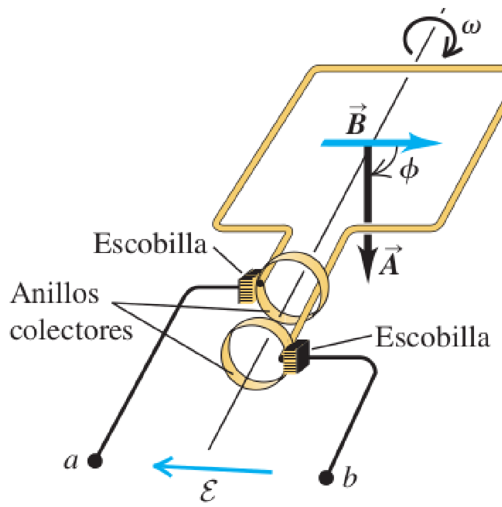
Cambia orientación relativa

El campo ***B*** se mantiene constante, pero flujo concatenado varía porque la bobina se desplaza hacia zonas de mayor intensidad de ***B***

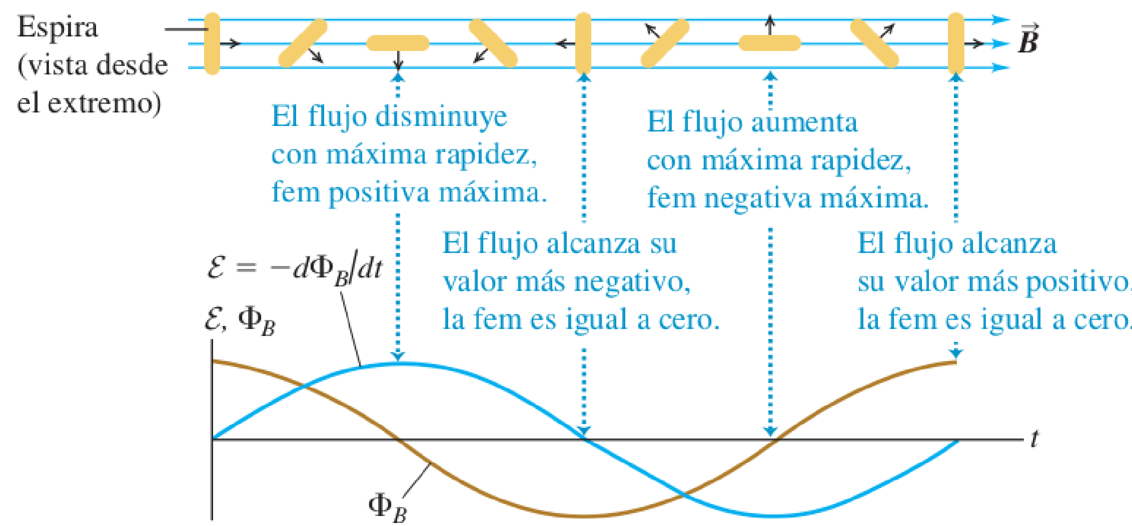
FEM de movimiento I

Alternador simple (generador de voltaje)

Se hace girar con velocidad constante una espira
en prescencia de un ***B*** uniforme y constante



$$\varepsilon = -\frac{d\phi_M}{dt} \qquad \phi_M = \iint_S \vec{B}.\hat{n}\, dS$$

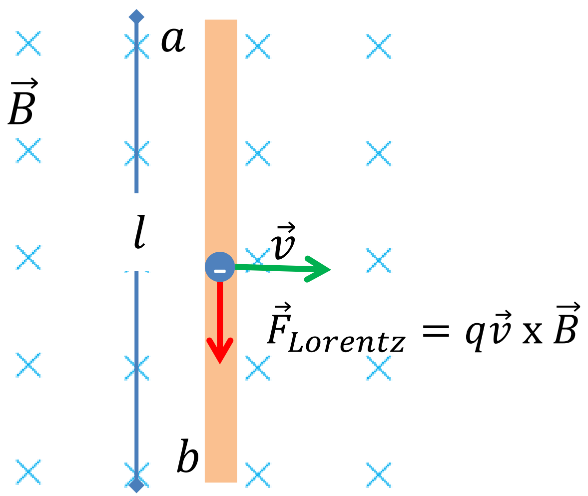


Transformo energía mecánica
en energía eléctrica

Fisica universitaria. Sears-Zemansky

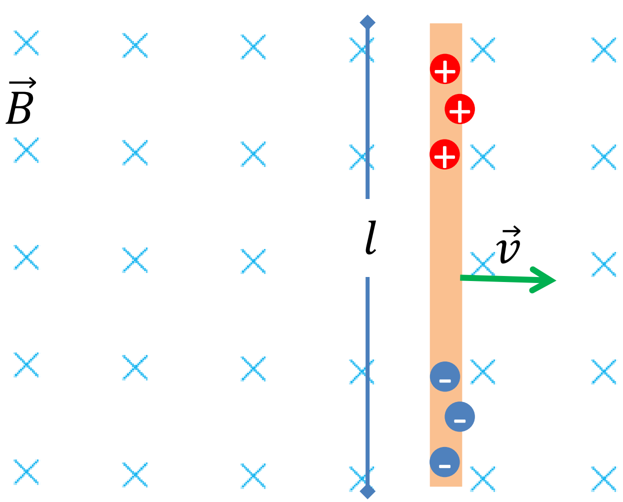
FEM de movimiento II

Varilla conductora moviendose en ***B*** constante



Sobre las cargas neg. aparece una fza Lorentz que induce un desplazamiento hacia *b*.

A medida que se desplazan hacia abajo (donde se acumulan) aparece un campo ***E***



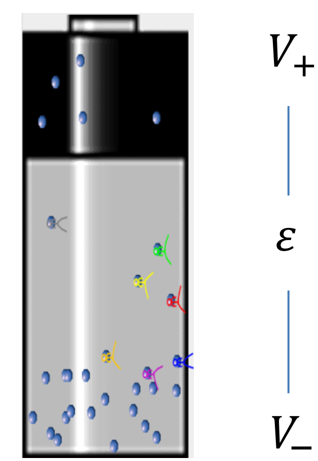
En el estacionario

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

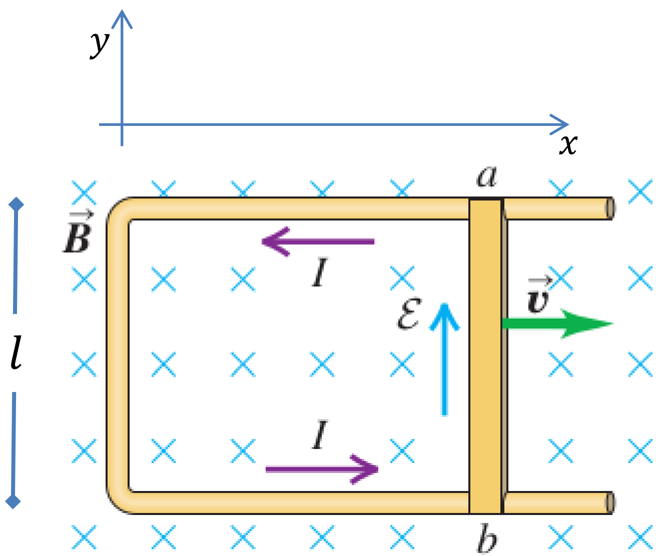
$$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$$

$$\Delta V_{ab} = E.l = vBl$$

Analogo a



FEM de movimiento III



$$\phi_M = Blx$$

$$\frac{d\phi_M}{dt} = Bl\frac{dx}{dt} \quad = Blv$$

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_M}{dt} = -Blv$$

Para entender los signos:

si *v>0* el flujo aumenta.

Estoy asumiendo entonces que $\hat{n} = -\hat{z}$

El signo negativo significa entonces que la corriente inducida gira como se muestra en la figura (trata de compenar el cambio de flujo)

Un último twist:

Este sistema convierte energía cinética en energía eléctrica …gratis?!?!? NOP

La corriente inducida hace que sobre la varilla actue una fuerza:

$$\vec{F}_{cable} = il\hat{y} \times \vec{B} \quad \sim F_{cable}\,(-\hat{x})$$

$$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{Blv}{R}$$

$$\vec{F}_{cable} = -\frac{B^2 l^2}{R} v\,\hat{x}$$

Fza disipativa que frena la varilla. (fza de arrastre magnética)