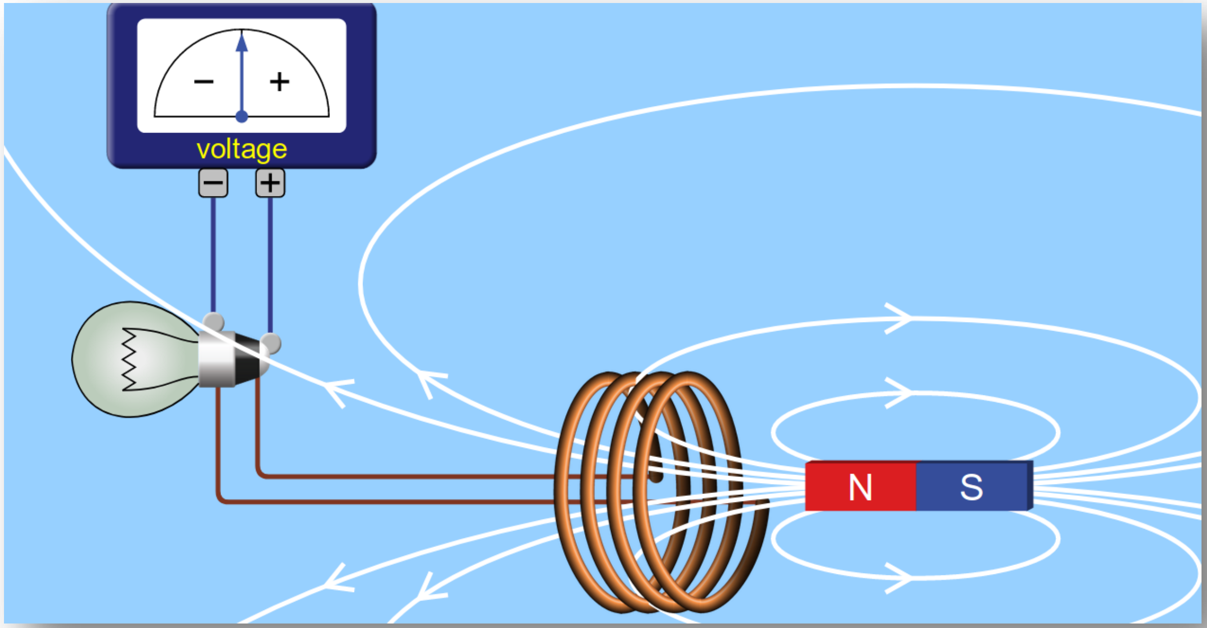
10 . Inducción magnética
Ley de Faraday
FEM inducidas

Que los campos sean unidos...

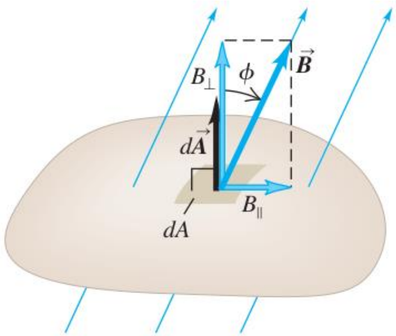
- Ya habiamos mencionado que en 1820 Hans Christien Oersted: Una corriente eléctrica que circula por un conductor, puede desviar y reorientar la aguja de una brújula corrientes son fuentes de ***B***

- ~1830 Faraday / Henry. Si varía el flujo magnético concatenado por espiras, en ellas se induce una corriente. ***B*** variables crean corrientes(!)



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

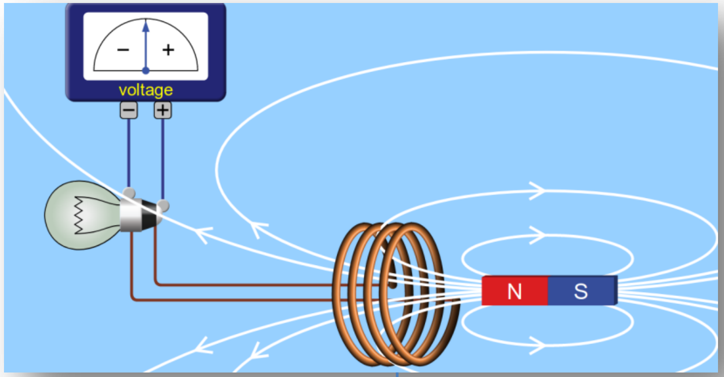
Ley de Faraday



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

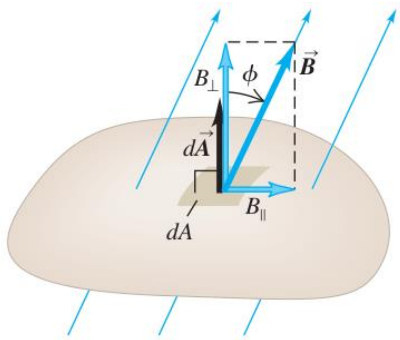
Las cargas comienzan a moverse (i.e. se induce corriente) porque aparece una **F**uerza **E**lectro **M**otriz **inducida**

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

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 $\vec{B} = \vec{B}(\vec{r}(t))$

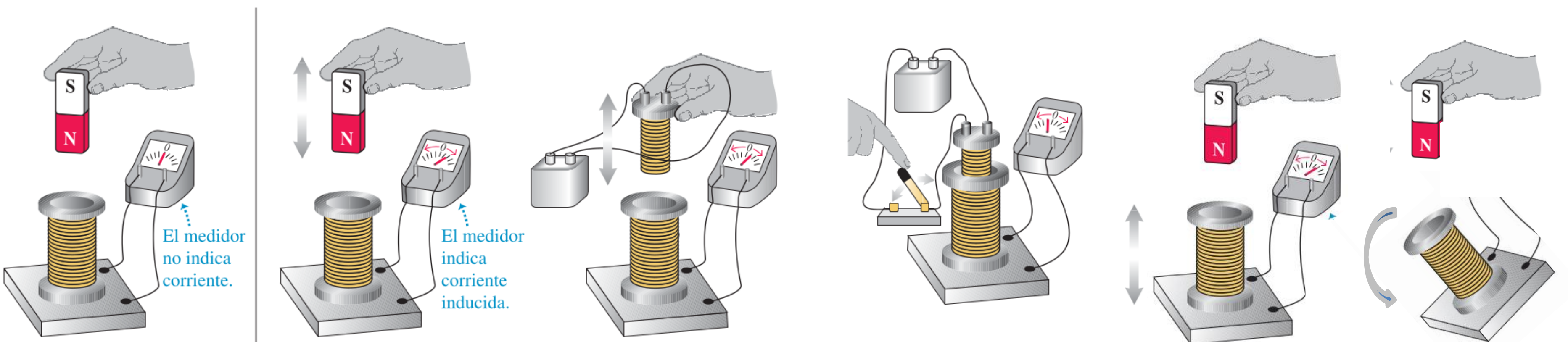
- ***B*** es constante, S no se desplazaa PERO cambia la orientación relativa entre $\vec{B}$ y la superficie ($\hat{n} = \hat{n}(t)$)

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



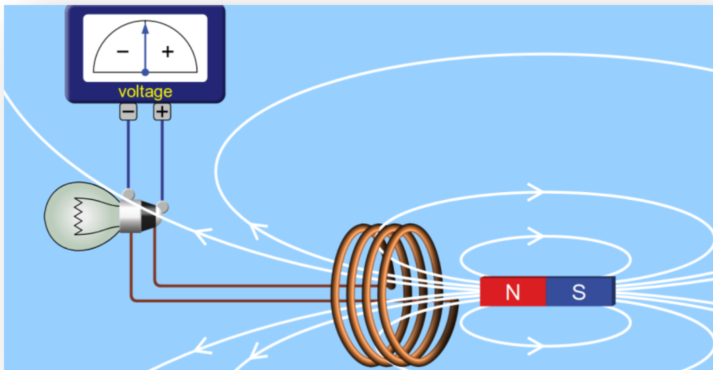
*Provocan que el campo magnético a través de la bobina *cambie*.

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

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

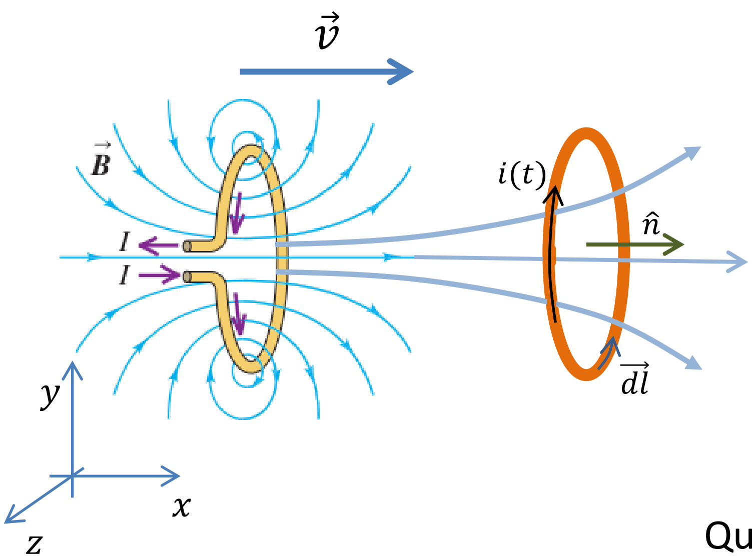
Cambia orientación relativa

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

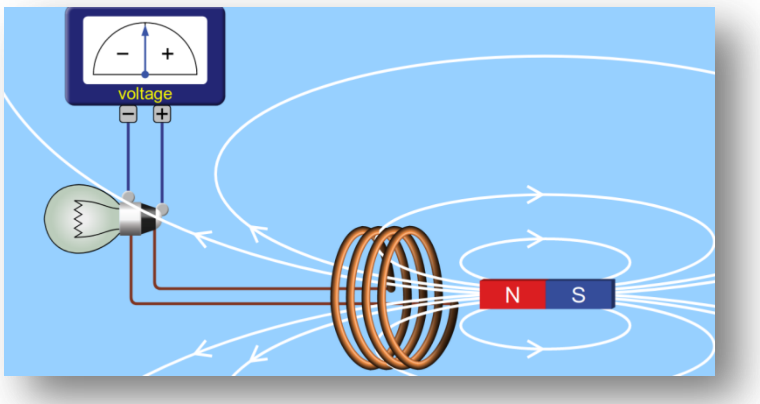
el trabajo realizado (por unidad de carga)sobre las cargas es negativo

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

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

Que pasaría si hubieramos elegido la normal en el otro sentido?

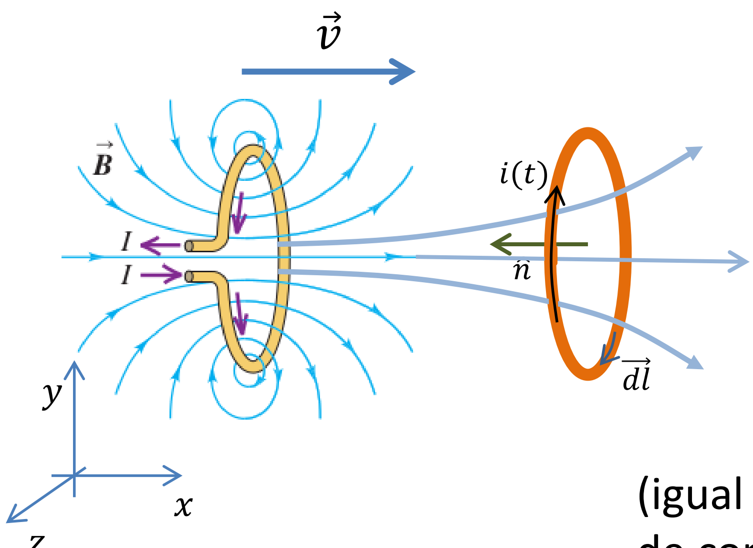
Hablemos del signo



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

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

Lo hacemos de nuevo pero ahora



consideramos $\hat{n} = -\hat{x} \rightarrow \frac{d\phi_M}{dt} < 0 \rightarrow \varepsilon > 0$

(al hacer esto asignamos sentido de $\vec{dl}$)

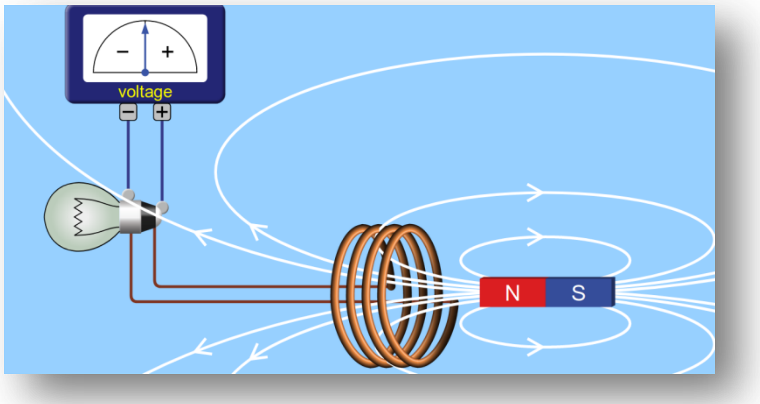
el trabajo realizado (por unidad de carga)sobre las cargas es positivo

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

$\Rightarrow \vec{F}_{nc}$ va en el sentido de los $\vec{dl}$.

(igual que antes! La fisica es la misma independientemente de como haya elegido $\hat{n}$ para hacer la cuenta)

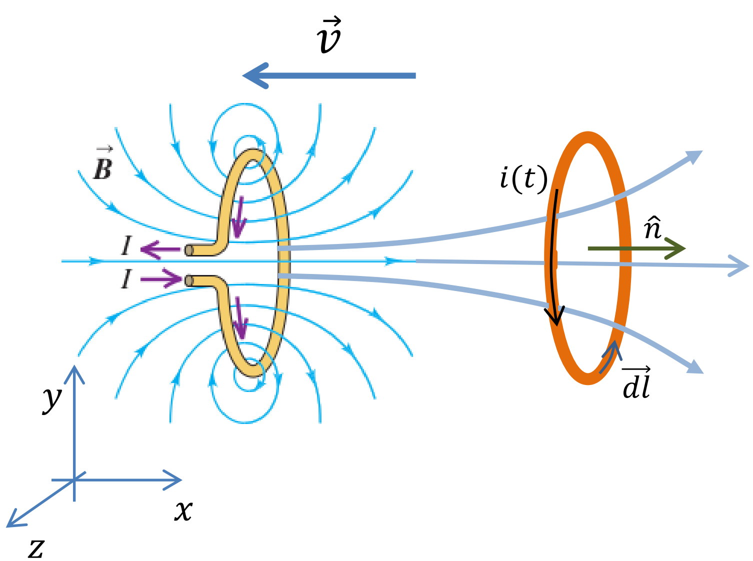
Hablemos del signo



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

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

En este otro ejemplo (**espira** ahora **se aleja**):



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

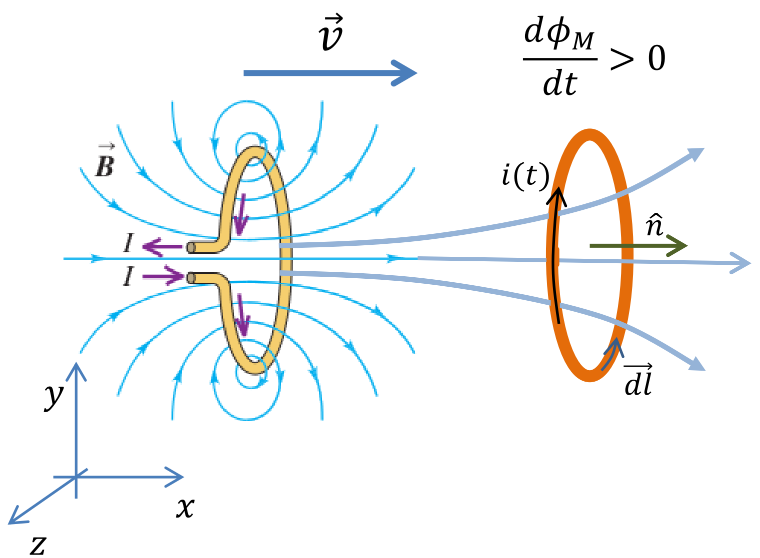
el trabajo realizado (por unidad de carga)sobre las cargas es positivo

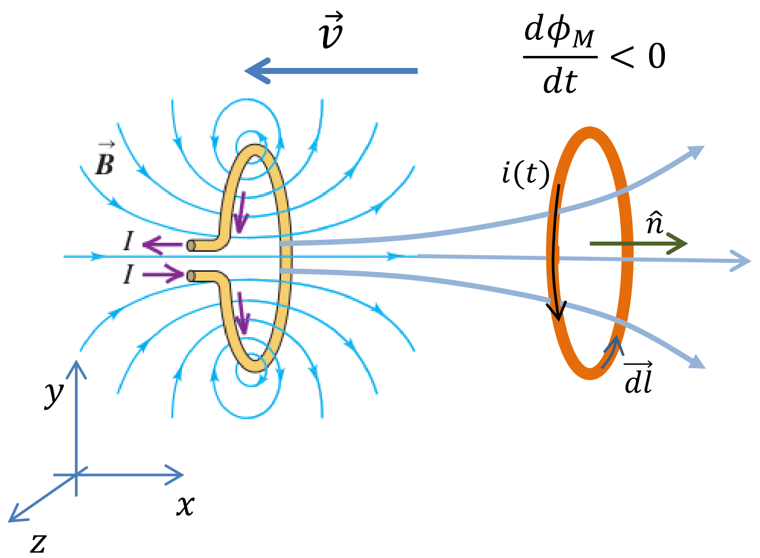
$$\varepsilon = \oint \frac{\vec{F}_{nc}}{q}.\overrightarrow{dl} > 0$$

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

O sea…

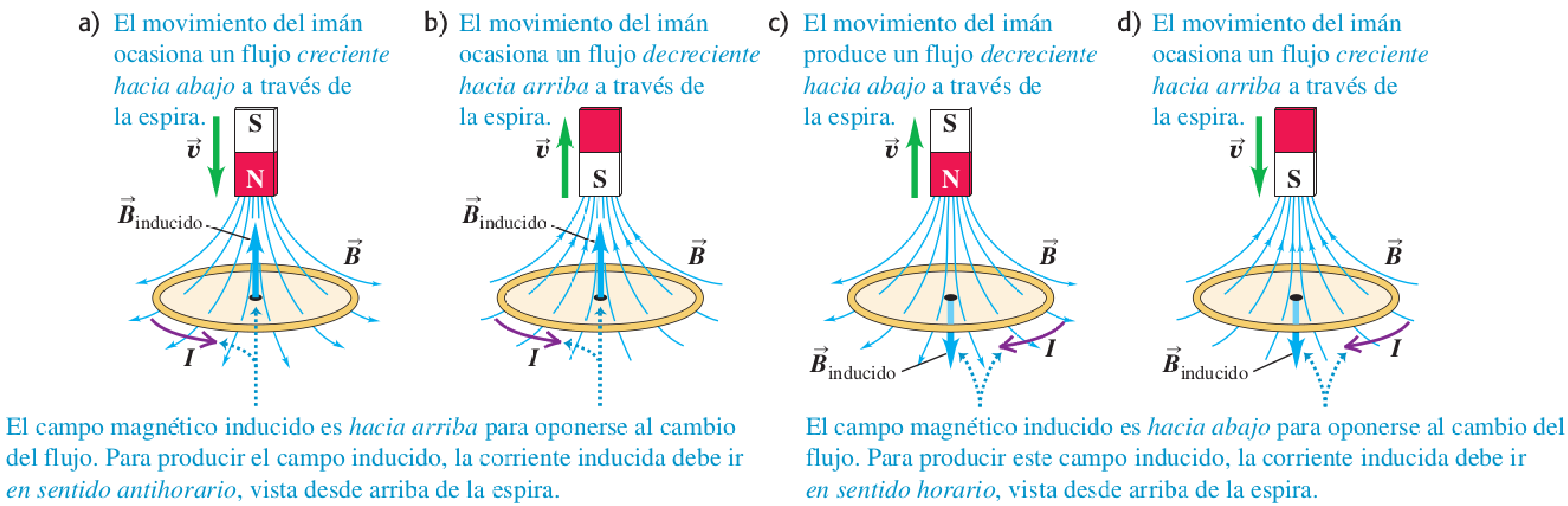
$$\varepsilon = -\frac{d\phi_M}{dt}$$





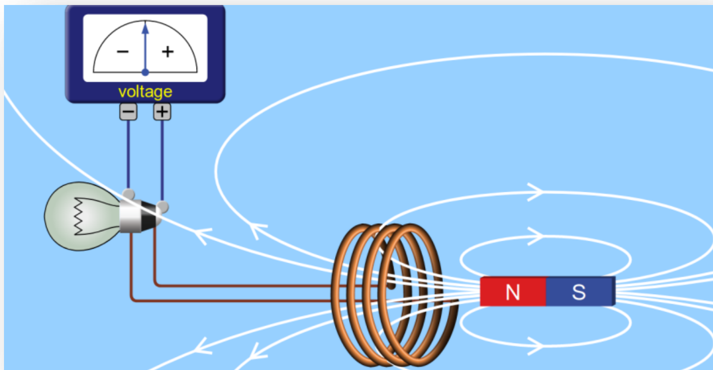
La corriente inducida aparece generando un ***B*** que **se opone al cambio** de flujo

O sea…



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

Vos me estas diciendo que...?



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

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

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

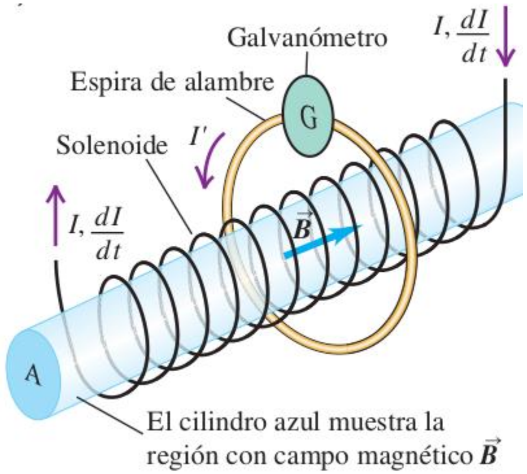
siempre perpendicular
al desplazamiento

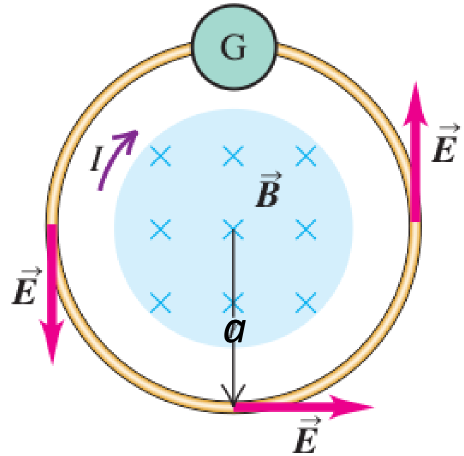
Quién acelera entonces las cargas que se ponen en movimiento al inducirse la corriente?!?!

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





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

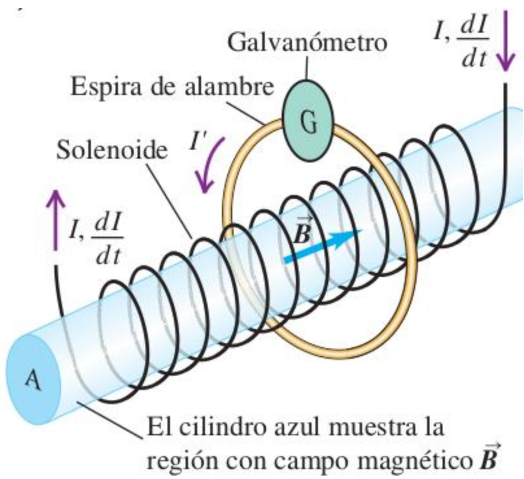
$$\oint \frac{\vec{F}_{nc}}{q} . \overrightarrow{dl} = -\frac{d\phi_M}{dt}$$

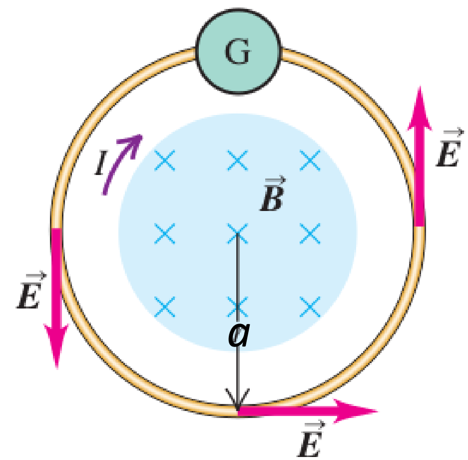
$$\oint \vec{E}^{nc} . \overrightarrow{dl} = -\frac{d\phi_M}{dt}$$

$$\oint \vec{E}^{nc} . \overrightarrow{dl} = -\frac{d \iint_S \ \vec{B}(t) . \hat{n} \, dS}{dt}$$

La ley de Faraday implica que en las regiones donde hay lineas de campo $\vec{B}(t)$ **hay circulacion** de un campo electrico $\vec{E}^{nc}(t)$!!!

Campos eléctricos inducidos





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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

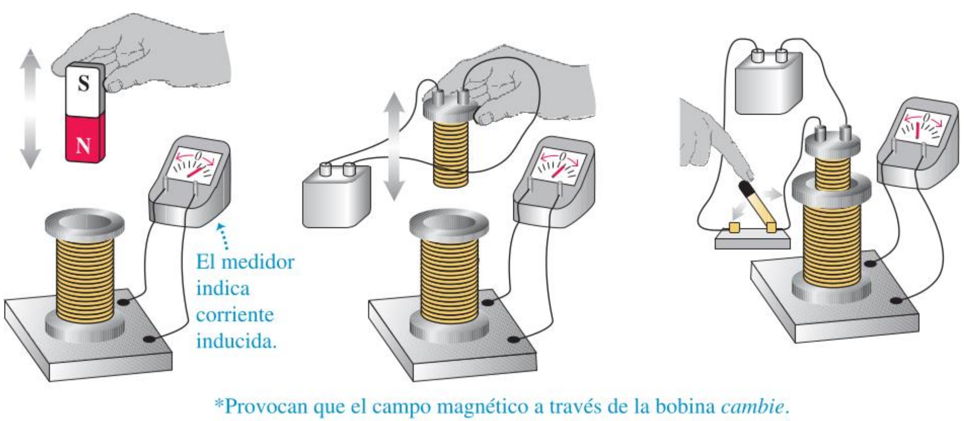
$$= \frac{\mu_0 NA}{2\pi a} \left| \frac{dI}{dt} \right|$$

Ley de Faraday

Una ley, dos FEMs

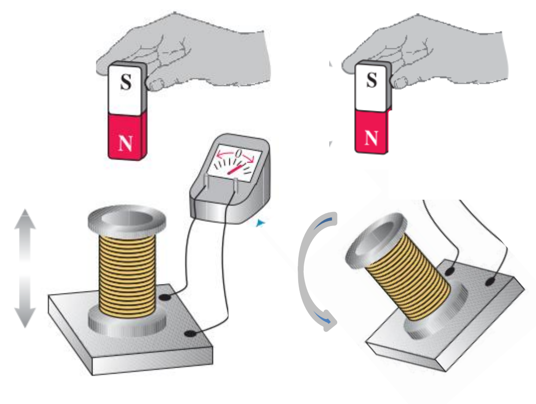
$$\varepsilon = -\frac{d\phi_M}{dt} \qquad \phi_M = \iint_S \vec{B}.\hat{n}\, dS$$

$\vec{B}(t) \rightarrow \vec{E}(t)$ →**FEM inducida**



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

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

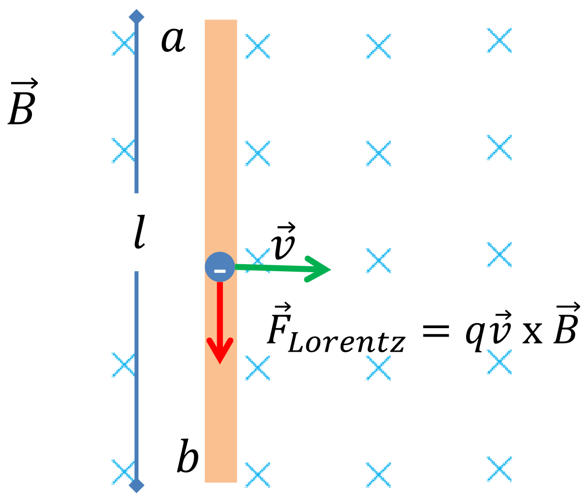


El campo ***B*** se mantiene constante, pero flujo concatenado varía porque la bobina se desplaza hacia zonas de mayor intensidad de ***B***

Cambia orientación relativa

FEM de movimiento I

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



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

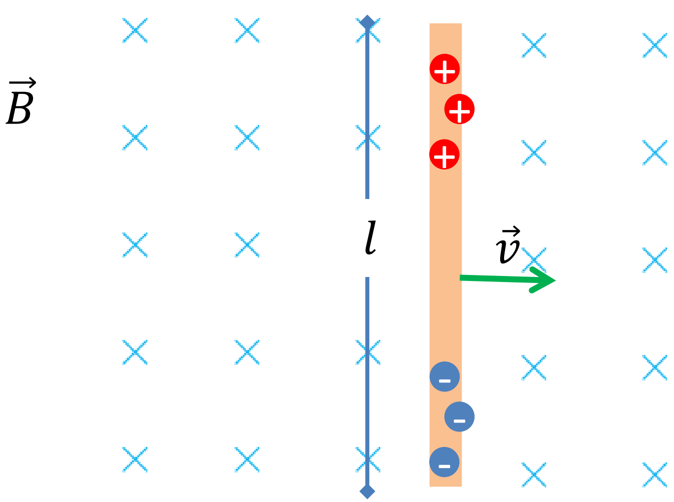
A medida que se desplazan hacia abajo (donde se acumulan) aparece un campo ***E***

En el estacionario

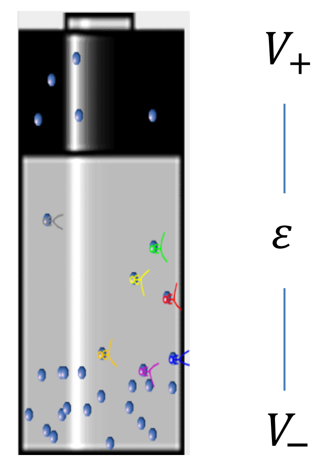
$$q\vec{E} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

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

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

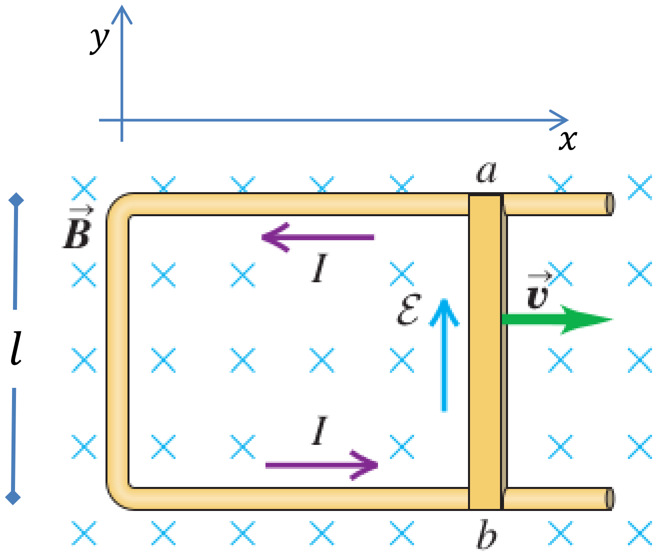


Analogo a



Notar que ***B*** puede hacer trabajo sobre las cargas por la existencia de una velocidad colectiva (la de la barra) que se impone desde afuera

FEM de movimiento II



$$\phi_M = Blx$$

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

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

Para entender los signos:

asumiendo que $\hat{n} = -\hat{z}$
si *v>0* el flujo aumenta.

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 ...forever?!?!?

NOP

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

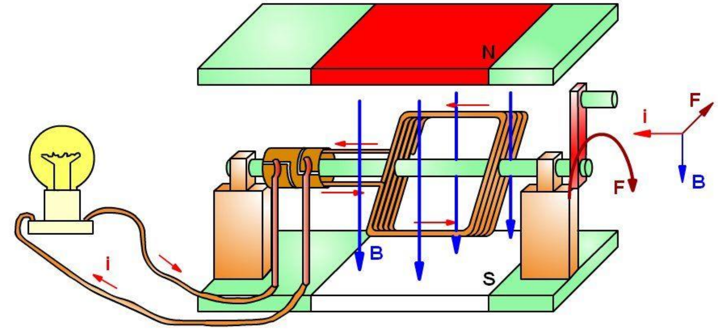
$$\vec{F}_{cable} = il\hat{y} \times \vec{B} \quad \sim F_{cable}\,(-\hat{x})$$

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

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

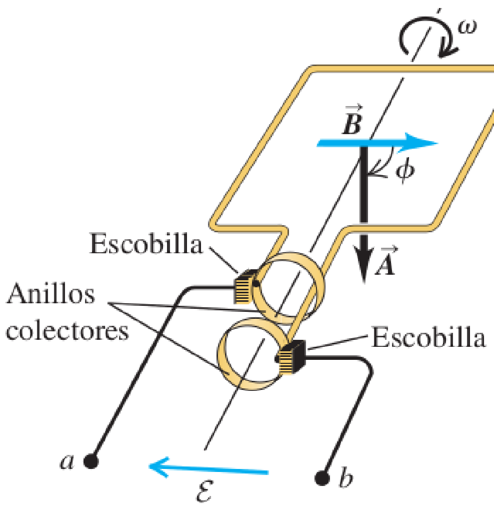
Fza disipativa que frena la varilla. (fza de arrastre magnética)

FEM de movimiento III



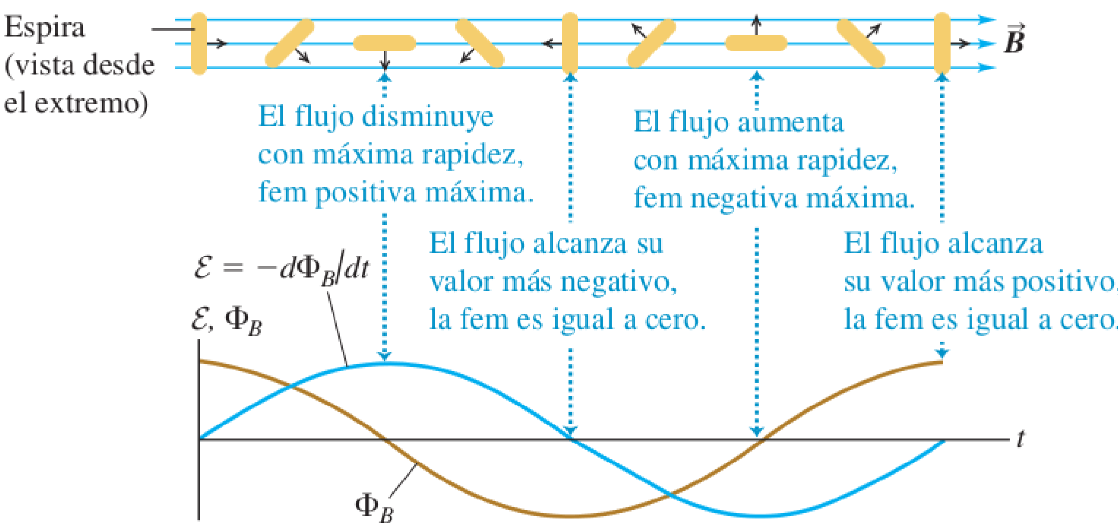
Alternador simple (generador de voltaje)

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



$$\hat{n} = \hat{n}(t)$$

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



Transformo energía mecánica en energía eléctrica

Fisica universitaria. Sears-Zemansky