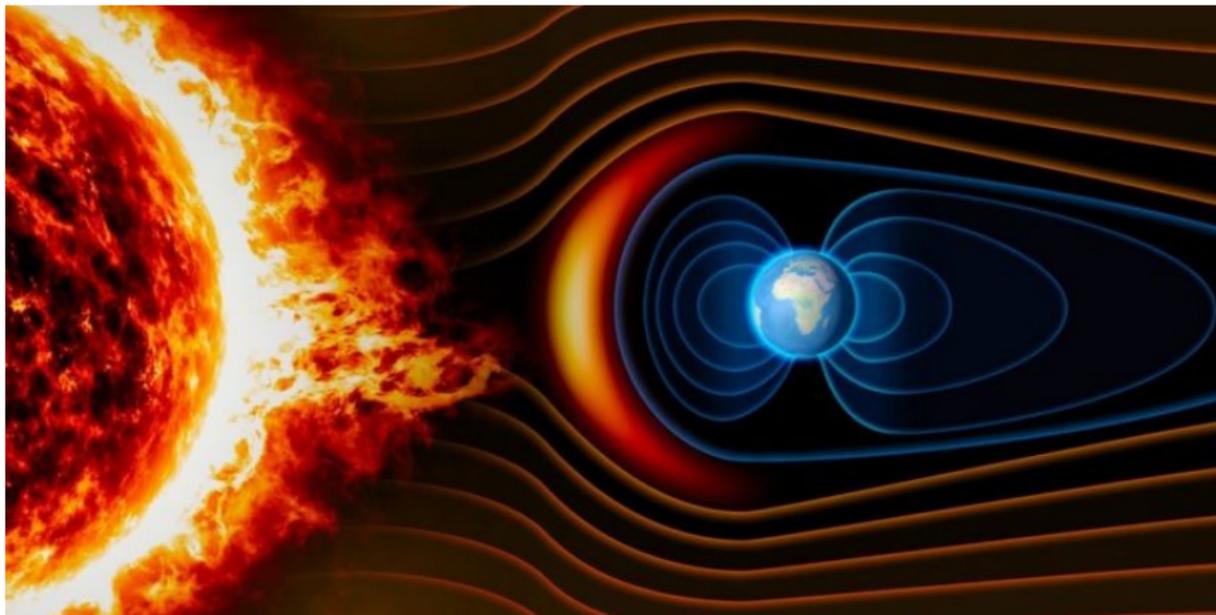
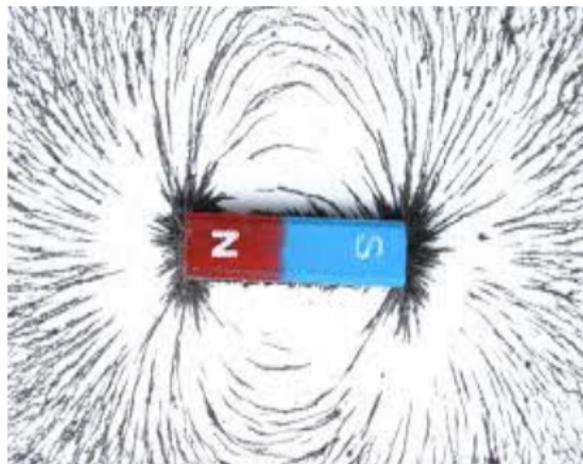


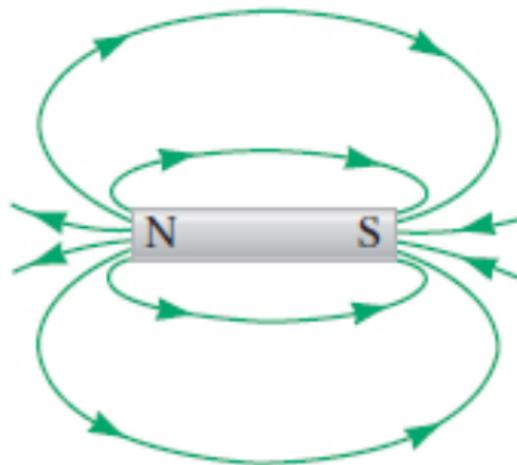
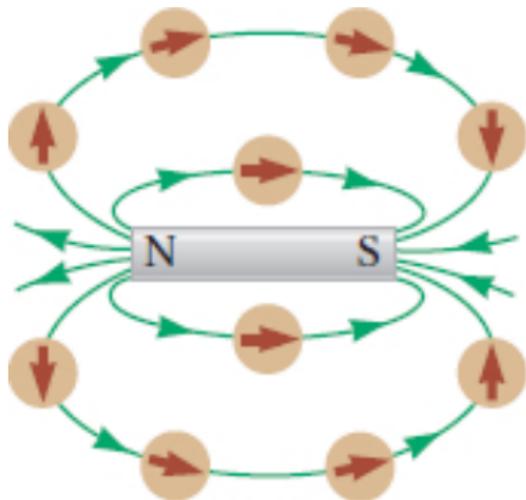
# 1. Magnetismo



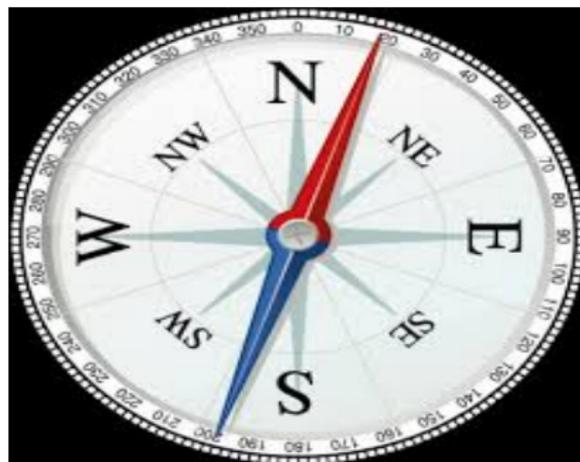
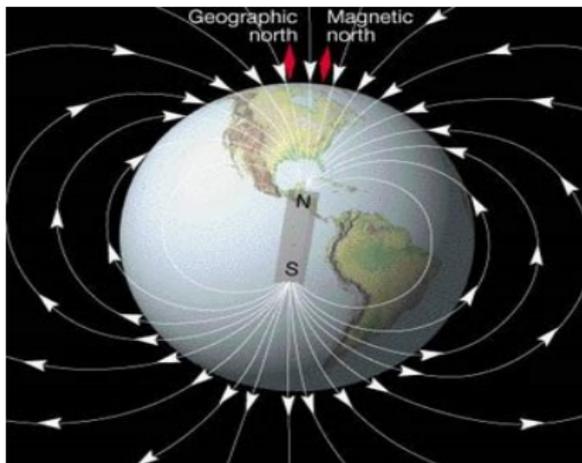
# Magnetismo



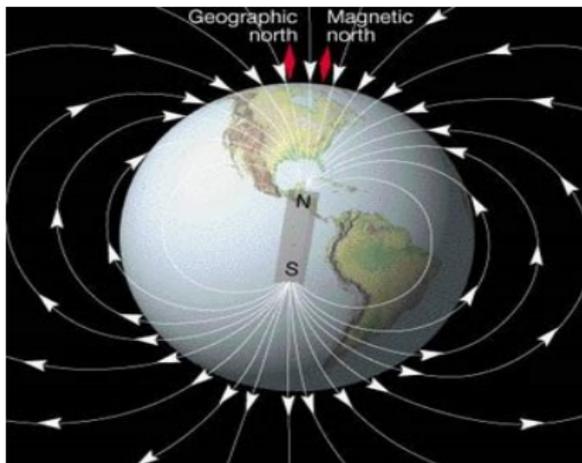
# Magnetismo



# Brújula



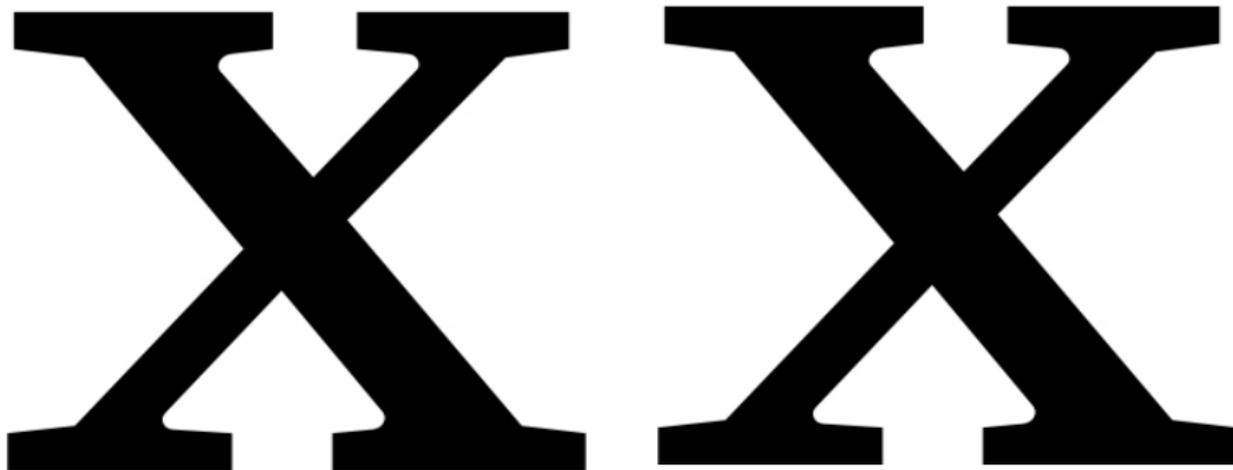
# Brújula



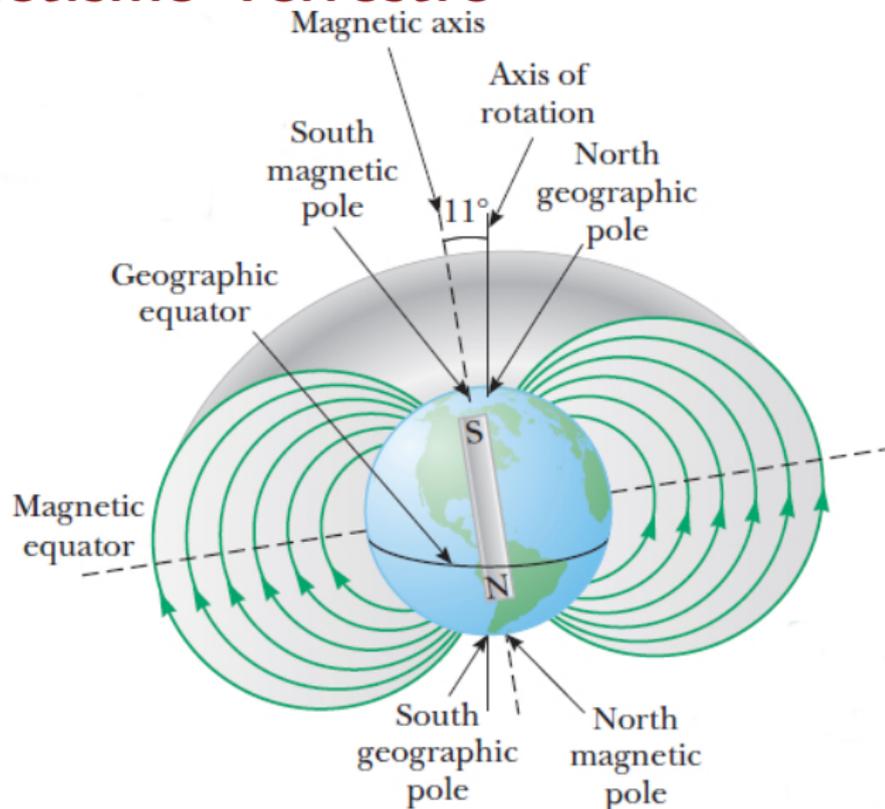
# Brújula

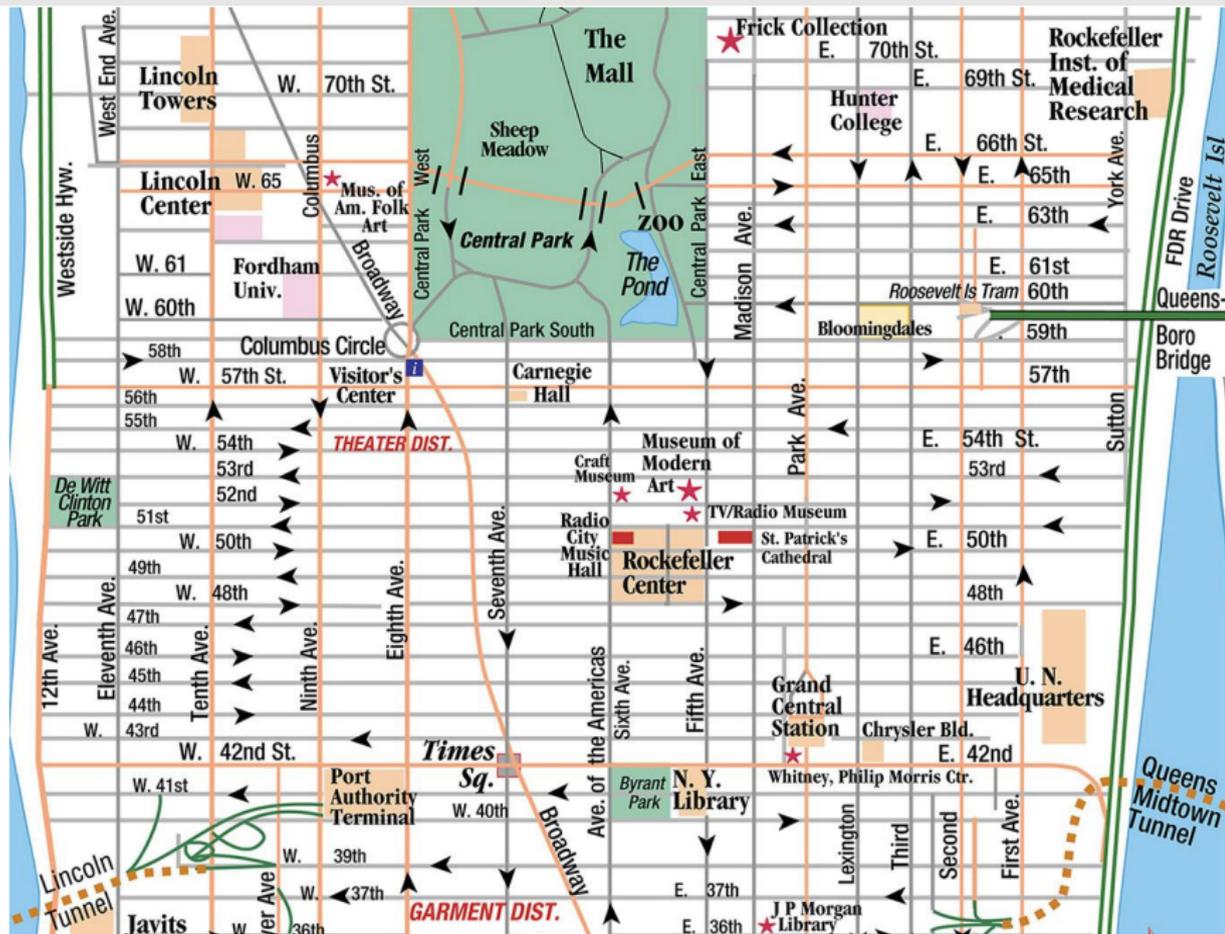


# Brújula

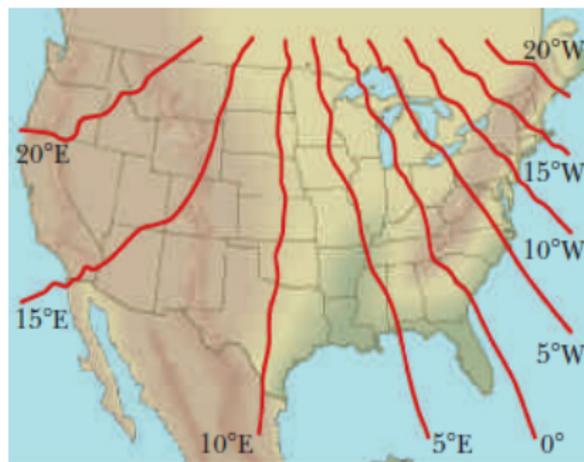
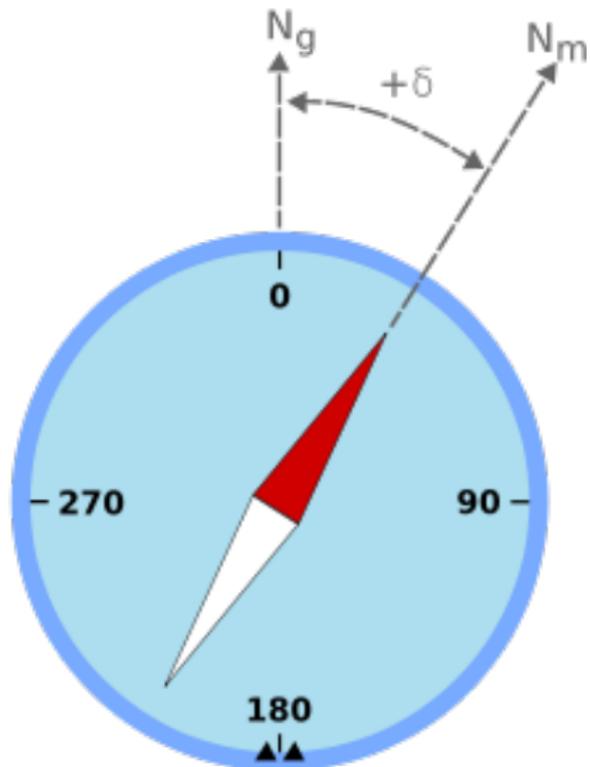


# Magnetismo Terrestre

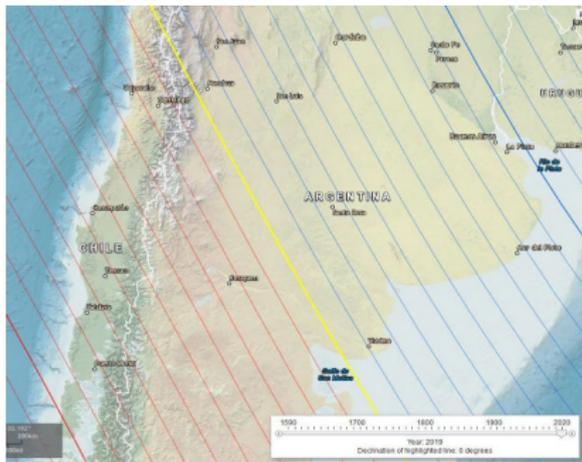




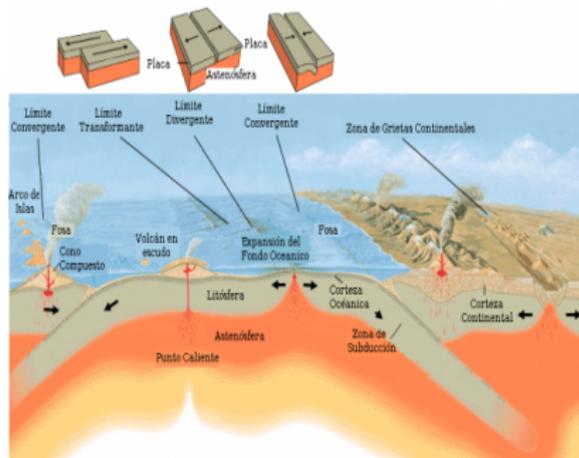
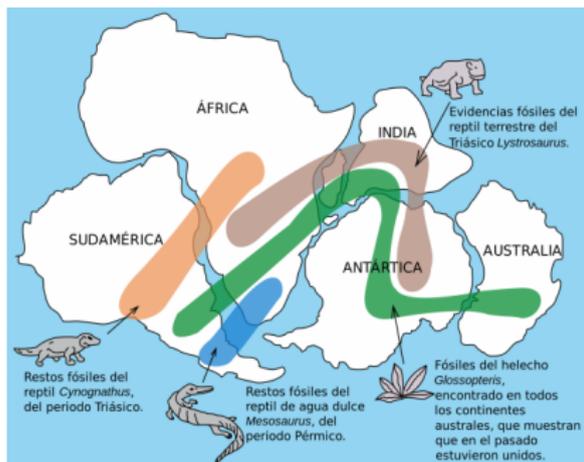
# Declinación Magnética



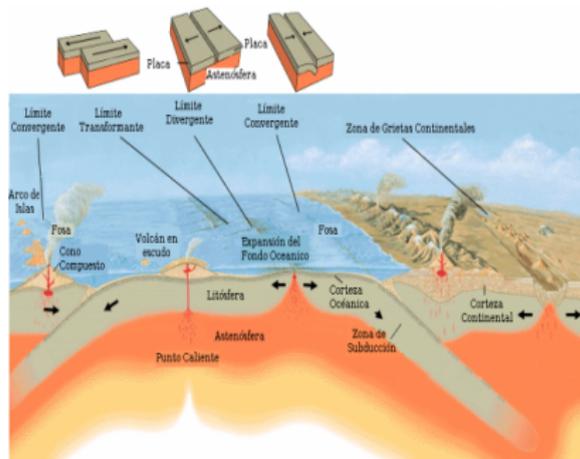
# Declinación Magnética



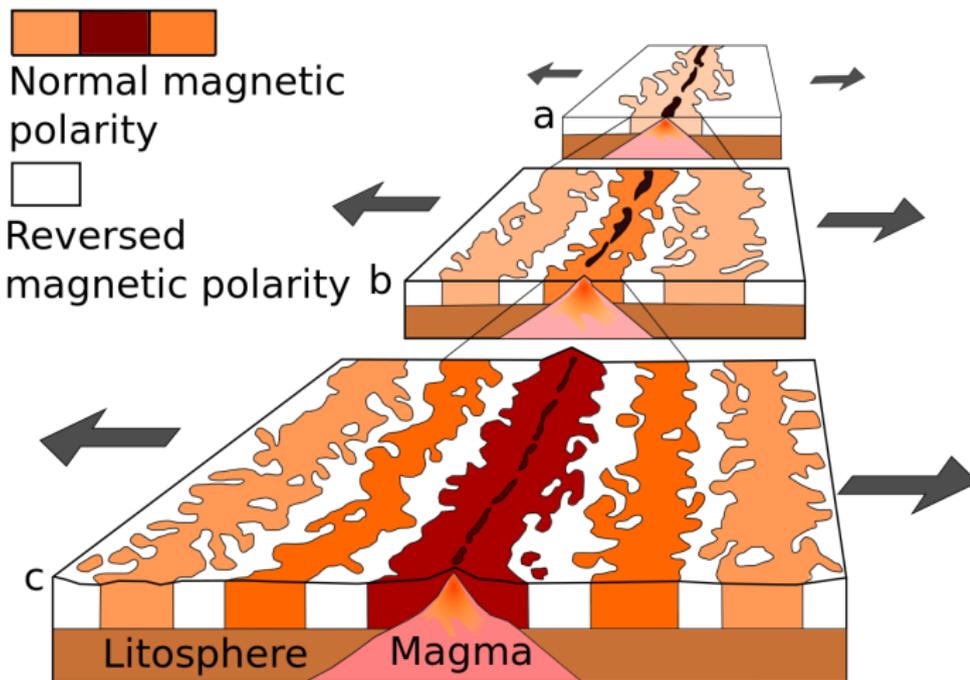
# Magnetoestratigrafía



# Magnetoestratigrafía



# Magnetoestratigrafía



# Biomagnetismo



# Biomagnetismo



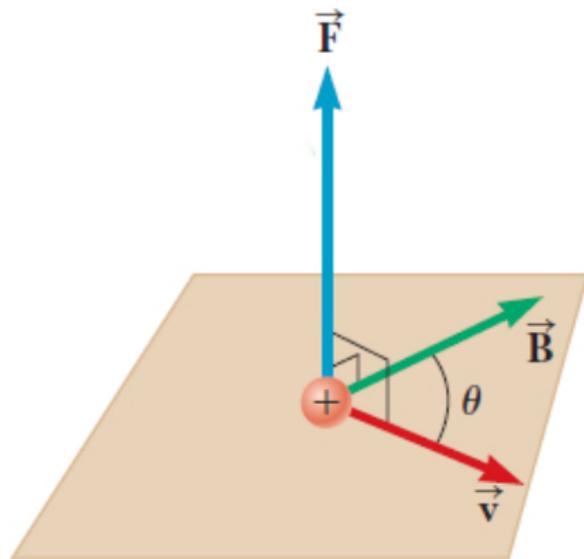
# Campos Magnéticos y Cargas

Una carga estacionaria **NO INTERACTÚA** con un campo magnético

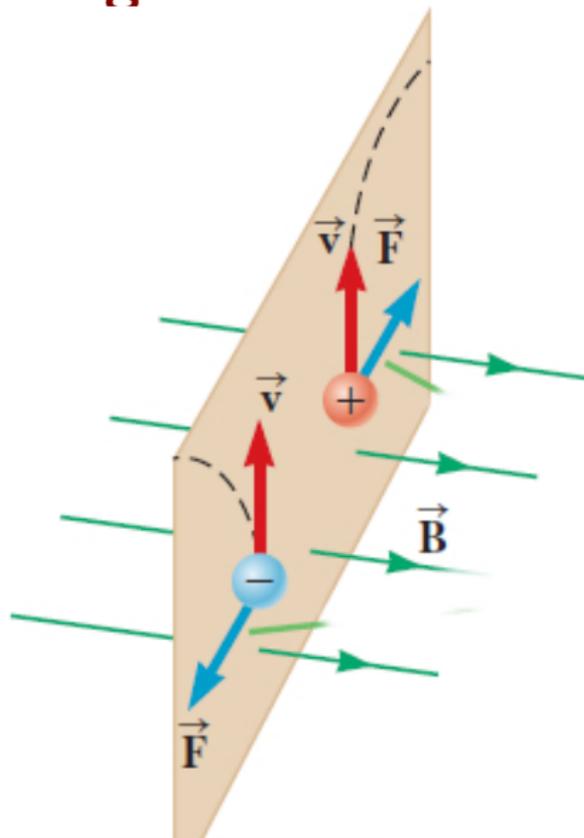
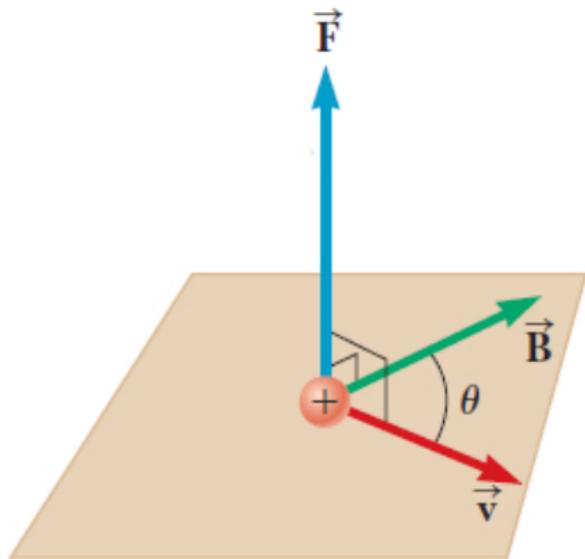
Si la carga se mueve, **ACTÚA una FUERZA**

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} = q |v| |B| \sin \theta$$

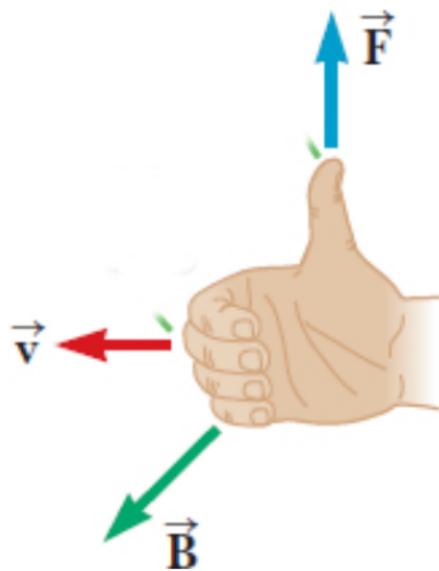
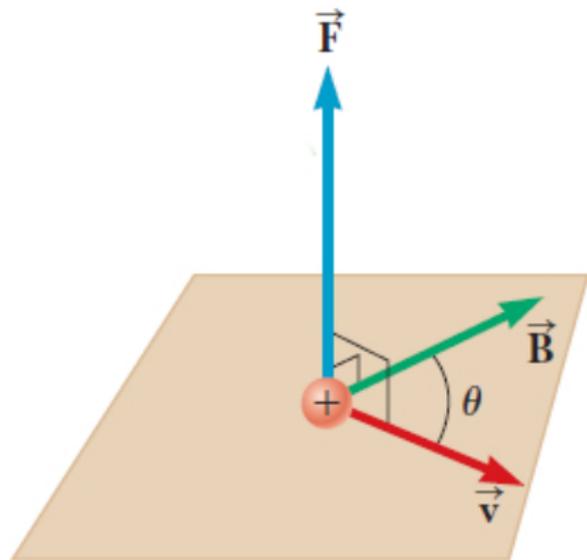
$$B \equiv \frac{F}{q v \sin \theta}$$



# Campos Magnéticos y Cargas



# Campos Magnéticos y Cargas



# Campos Magnéticos y Cargas

$$B = \frac{F}{qv \sin \theta}$$
$$[B] = \frac{N}{C m/s} = \frac{N}{A m} = T$$

El Tesla es muchas veces muy grande, por lo que se utiliza Gauss

$$1 T = 10^4 G$$

El campo magnético terrestre es  $\approx 0.5$  Gauss.

# Campo Magnético Terrestre

## Problema 0.1

Un protón viaja a  $v = 1.00 \times 10^5$  m/s, en dirección Este. Calcular la dirección y magnitud de la fuerza magnética sobre el protón. Repetir el problema, para un electrón.

Respuesta:

$F = 8.80 \times 10^{-19}$  N en dirección hacia arriba.

Si es un electrón, la fuerza es hacia abajo.

# Protón en Campo Magnético

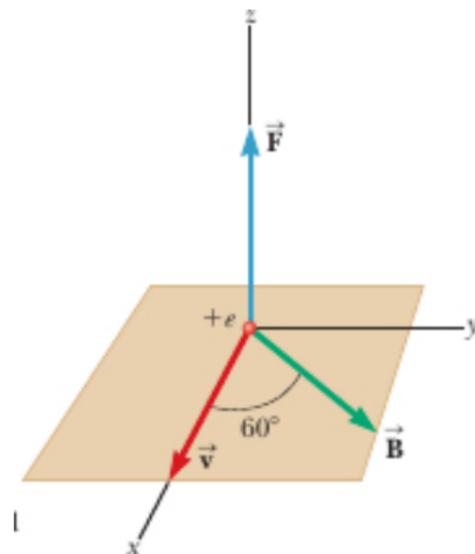
## Problema 0.2

Un protón viaja a  $v = 8.00 \times 10^6$  m/s sobre el eje  $\hat{x}$ . Entra en una región en la cual hay un campo magnético  $\hat{B} = 2.50$  T, dirigido a un ángulo de  $60^\circ$  del eje  $x$  y sobre el plano  $xy$ .

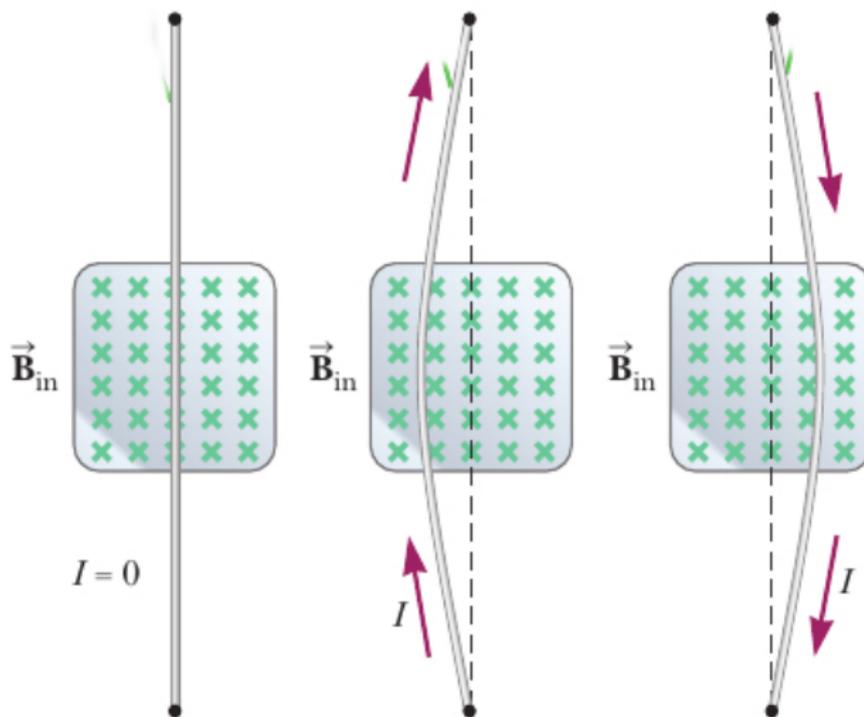
1. Calcular la fuerza magnética sobre el protón.
2. Calcular la aceleración inicial del protón.

Respuesta:

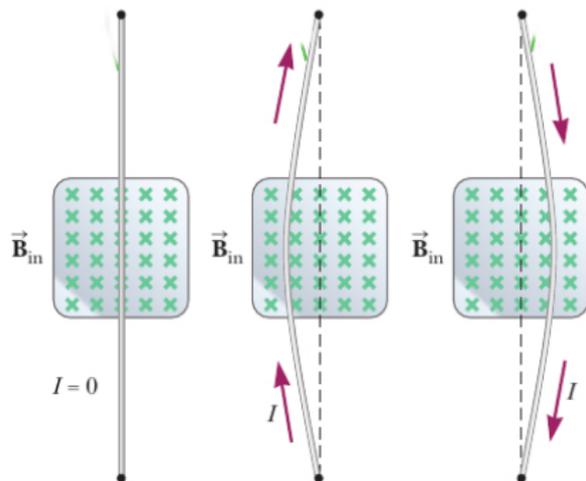
1.  $F = 2.77 \times 10^{-12}$  N en dirección  $\hat{z}$ .
2.  $a = 1.66 \times 10^{15}$  m/s.



# Campos Magnéticos y Corrientes



# Campos Magnéticos y Corrientes



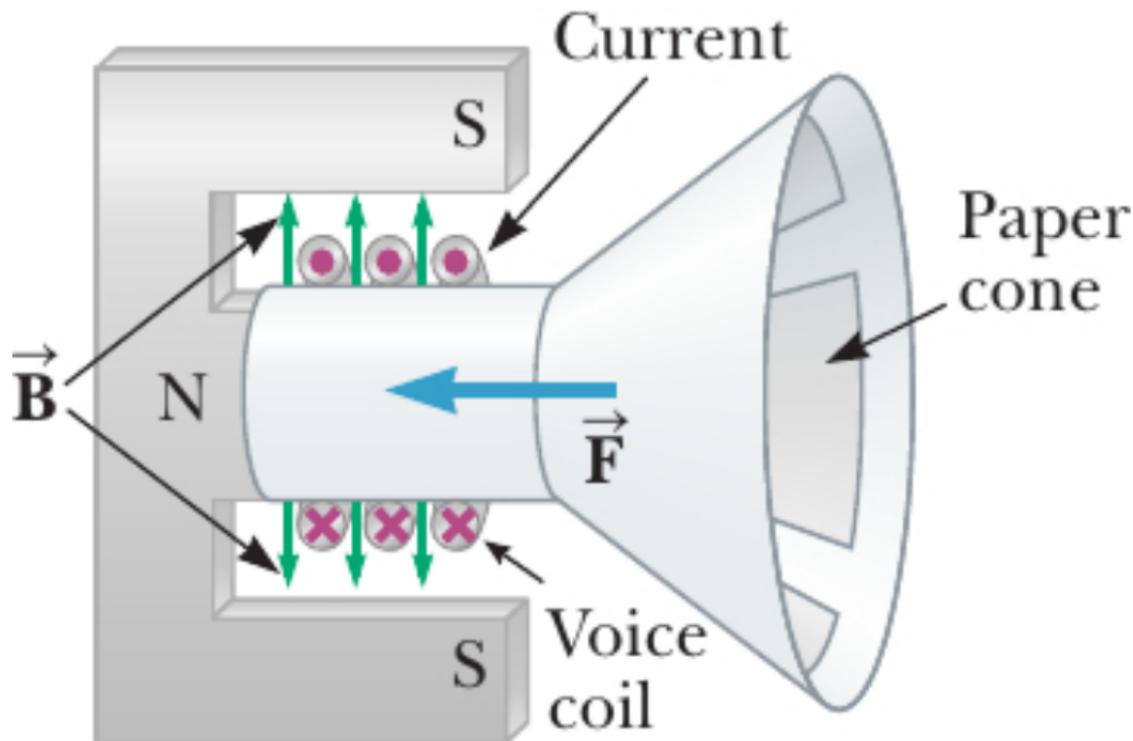
$$F = (q v B) \text{ Nro de cargas}$$

$$F = (q v B) (n A l)$$

$$I = n q v A$$

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

# Parlante



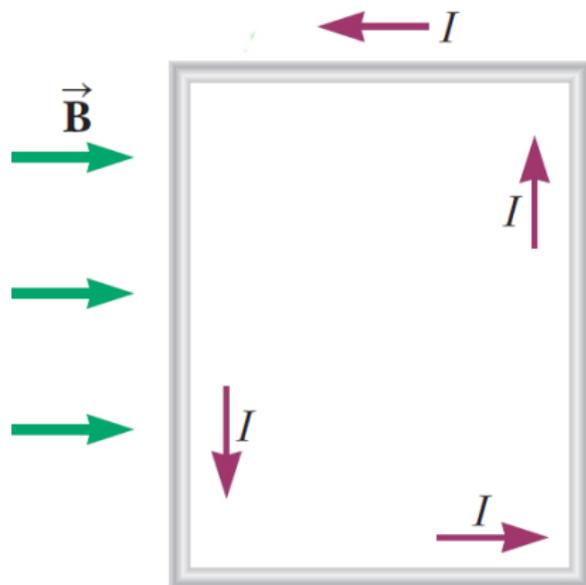
# Campo Magnético Terrestre vs. Gravedad

## Problema 0.3

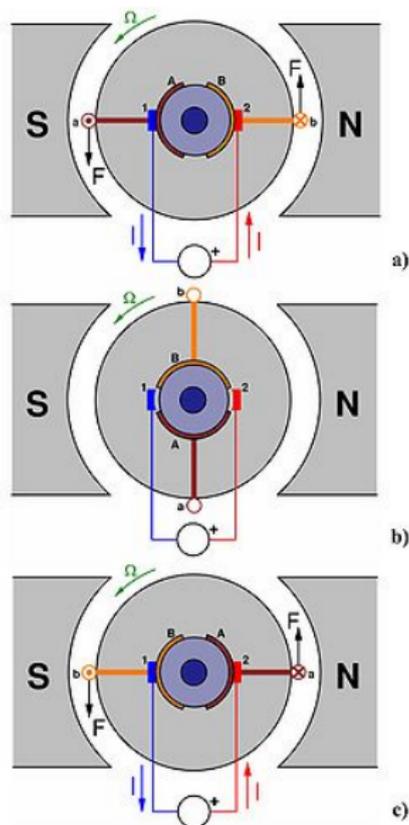
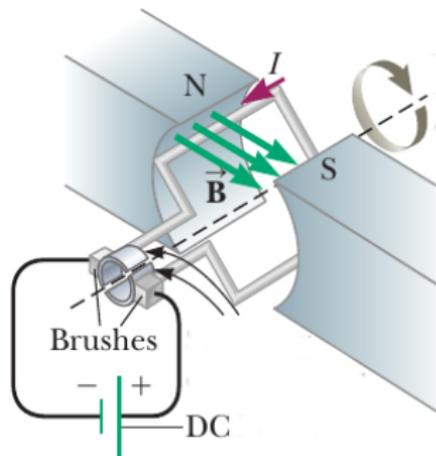
1. Comparar la fuerza magnética sobre un protón en movimiento con la fuerza gravitatoria.
2. Comparar ambas fuerzas para un cable de cobre de 36 m de largo, por el que circula una corriente de 22 Amperes.

# Espira cuadrada

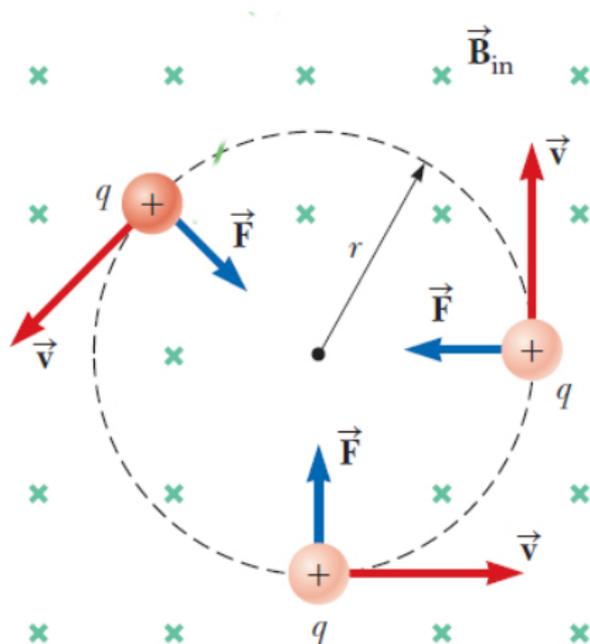
Las fuerzas magnéticas actúan sobre los lados que son perpendiculares a  $\vec{B}$ , pero no sobre los lados con corriente paralelas a  $\vec{B}$



# Motor Eléctrico



# Movimiento de Cargas en $\vec{B}$



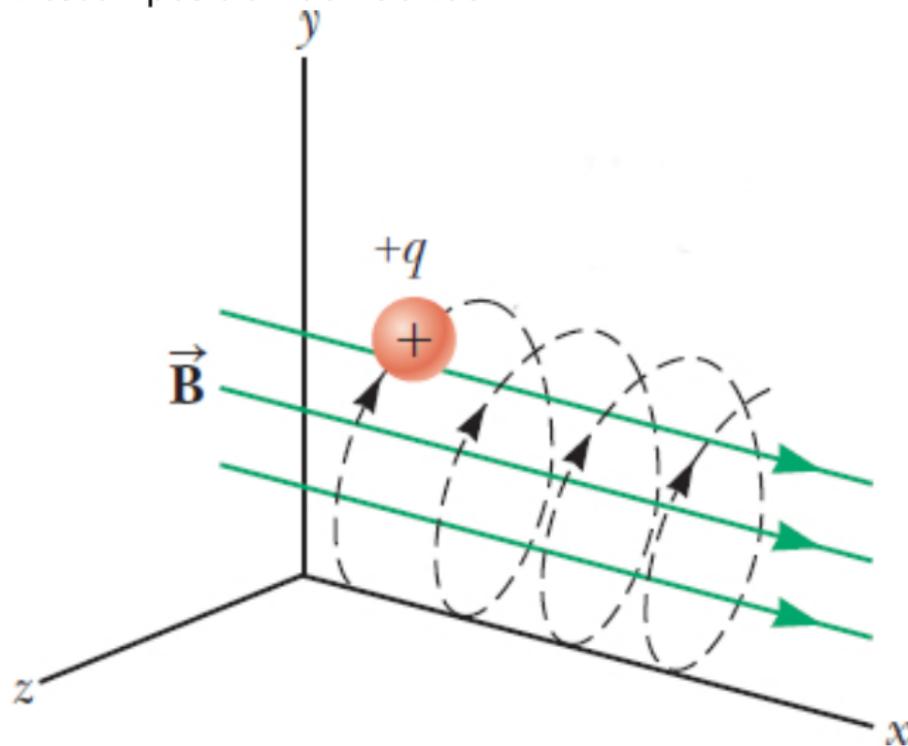
Ecuación de ciclotrón:

$$F = (q v B) = \frac{m v^2}{r}$$

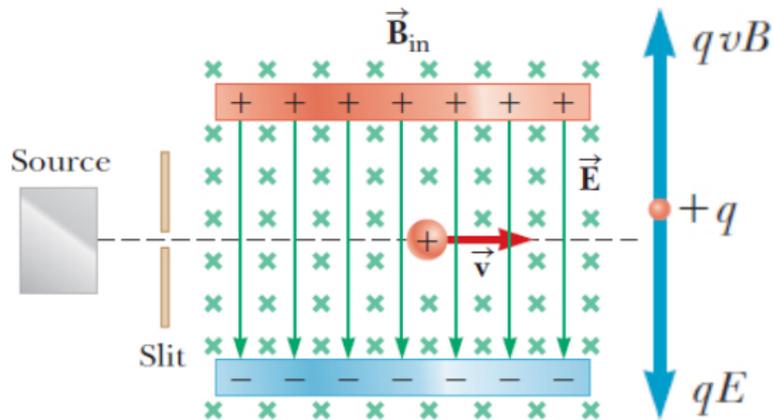
$$r = \frac{m v}{q B}$$

# Movimiento de Cargas en $\vec{B}$

Descomposición de Fuerzas:



# Selector de Velocidades



Fuerza Magnética

$$F_m = qvB$$

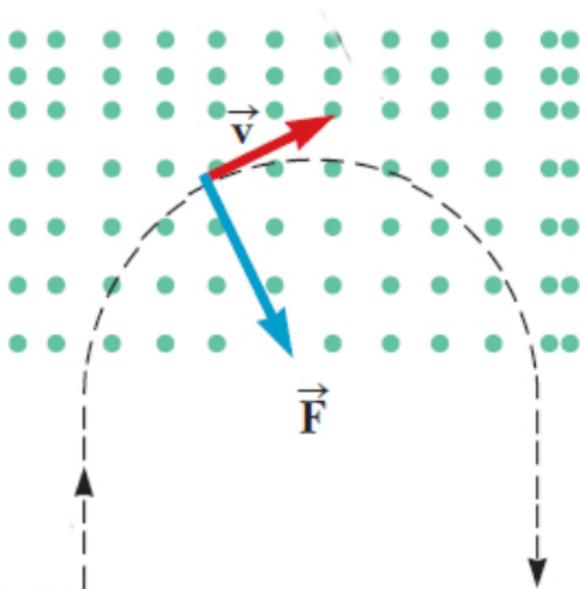
Fuerza Eléctrica:

$$F_e = qE$$

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

# Espectrómetro de Masas

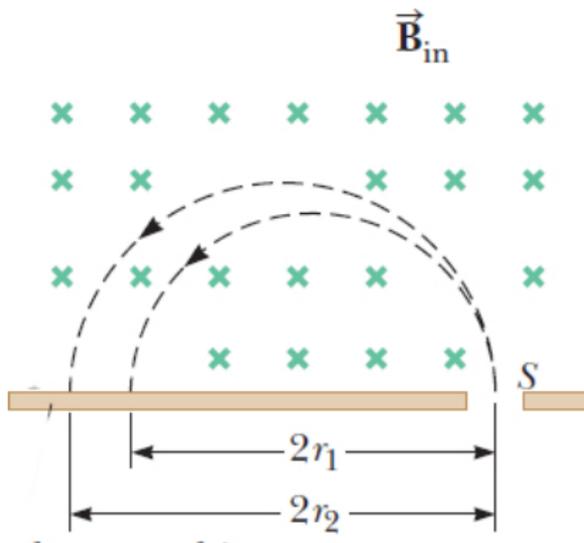
## Problema 0.4



Diseñar un Espectrómetro de masas capaz de separar los isótopos del Hidrógeno

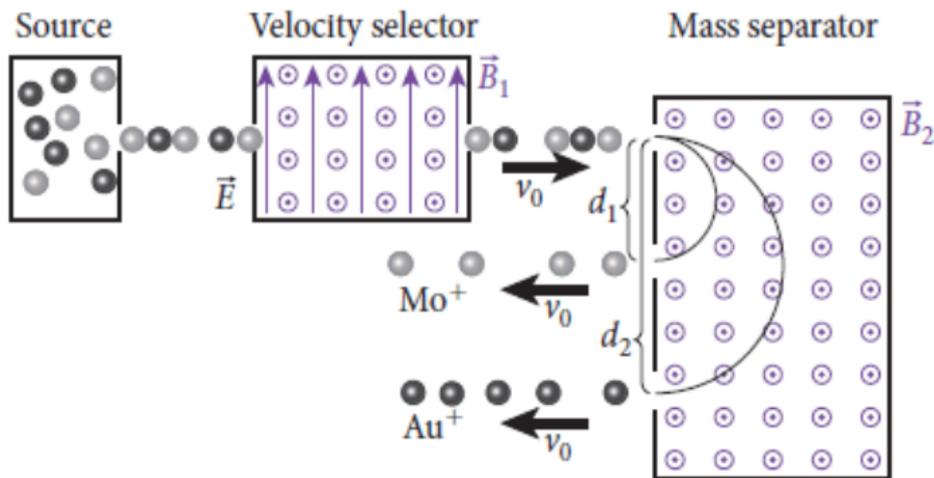
# Espectrómetro de Masas

## Problema 0.4

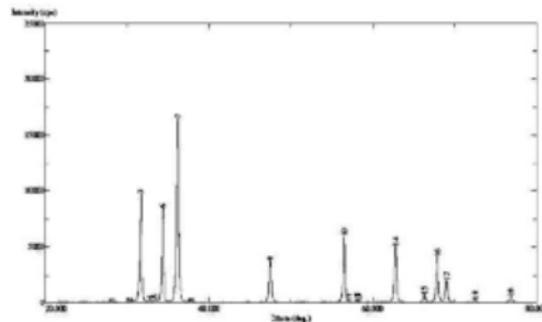
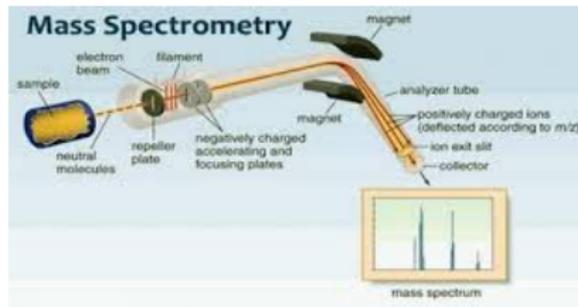


Diseñar un Espectrómetro de masas capaz de separar los isótopos del Hidrógeno

# Espectrómetro de Masas (completo)



# Espectrómetro de Masas (completo)

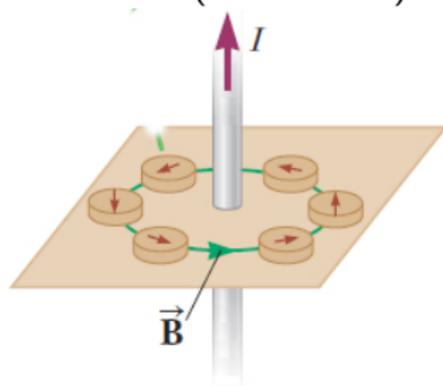
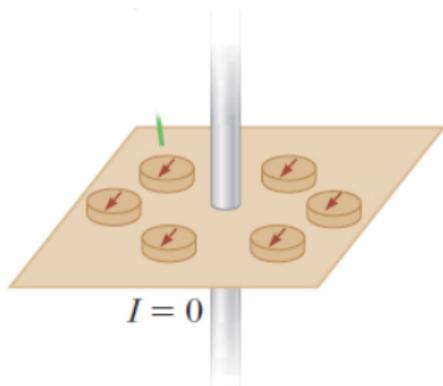


# Ley de Ampere

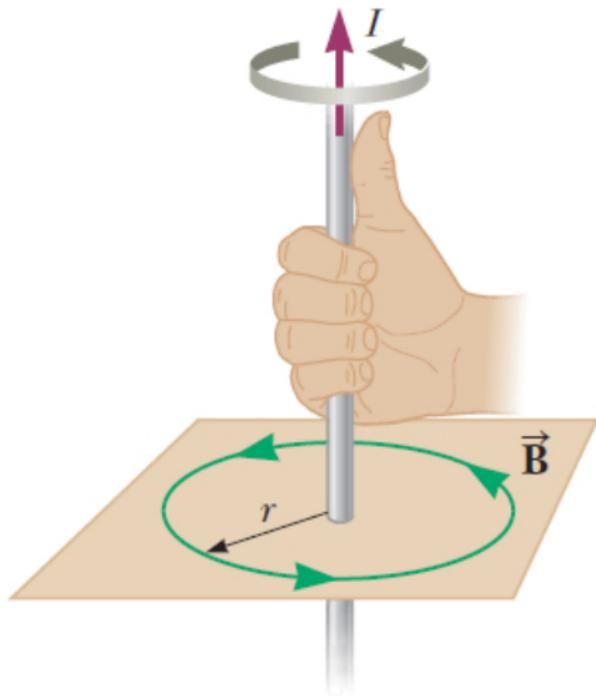


Leonard de Sain/CORBIS

André-Marie Ampere  
(1775–1836)



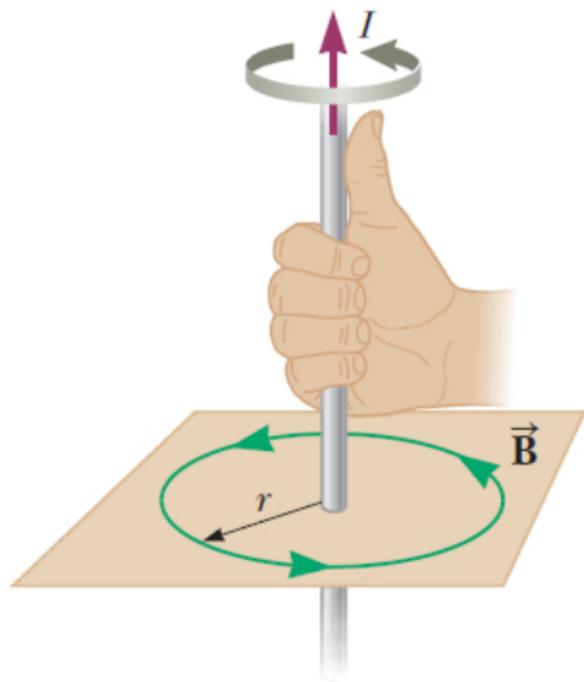
# Ley de Ampere



© Richard Megna, Fundamental Photographs



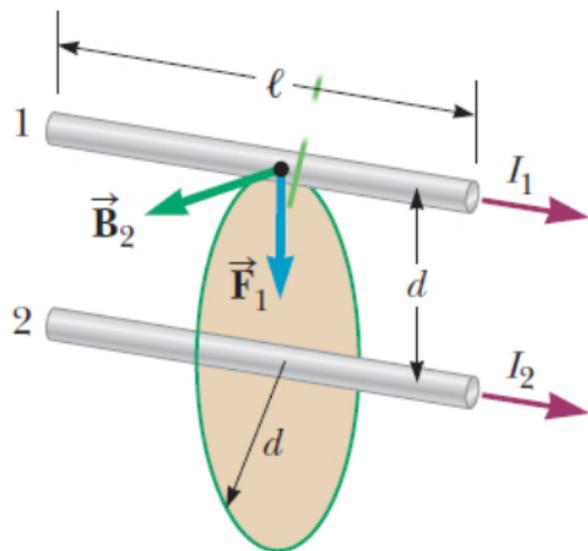
# Ley de Ampere



$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

donde  $\mu_0 \equiv 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m / A}$ ,  
es la **permeabilidad del vacío**.

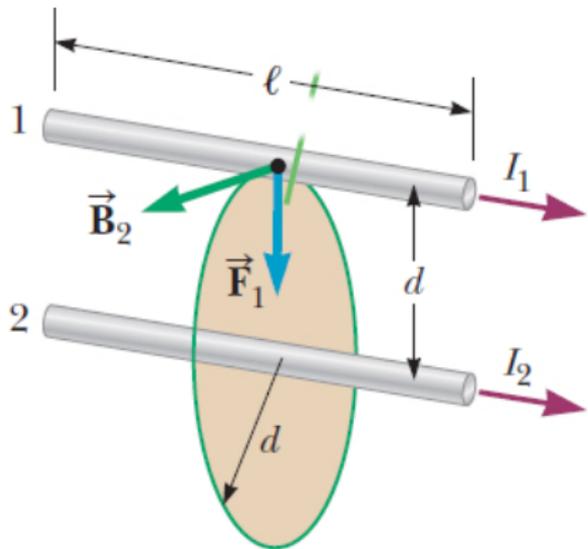
# Fuerza magnética entre dos conductores



$$\begin{aligned}
 B_2 &= \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d} \\
 F_1 &= B_2 I_1 l = \\
 &= \left( \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d} \right) I_1 l = \\
 &= \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}
 \end{aligned}$$

$$\frac{F_1}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

# Fuerza magnética entre dos conductores

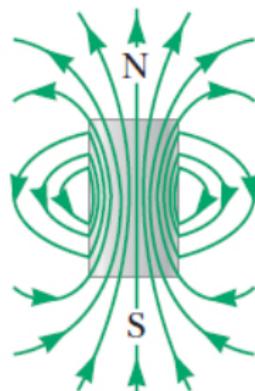
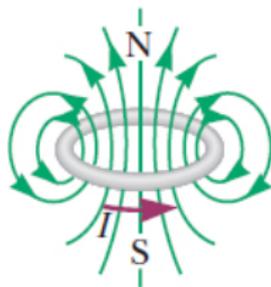
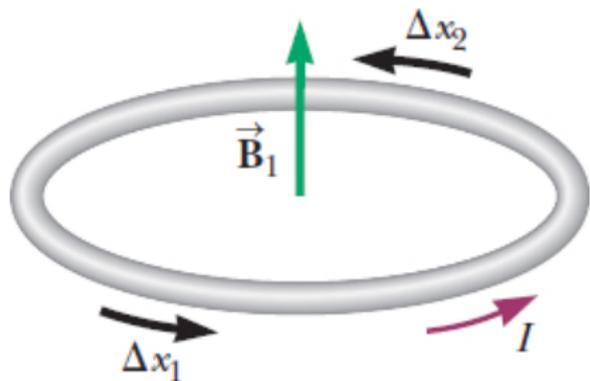


$$\frac{F_1}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

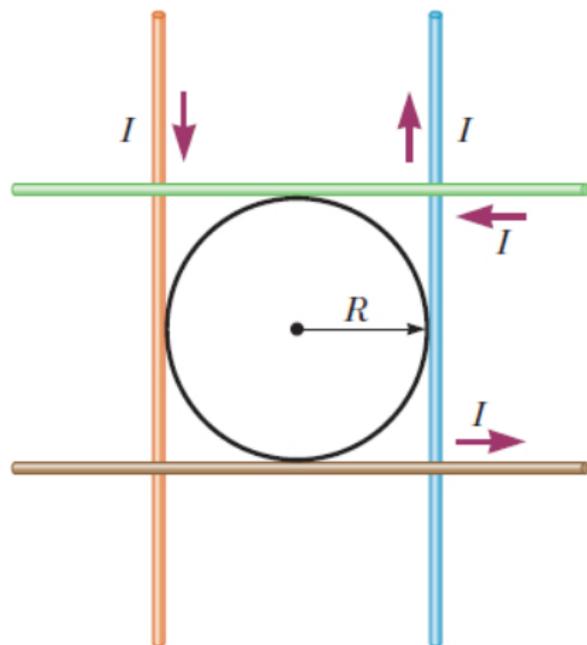
La fuerza  $F_1$  es hacia abajo (por ley de acción-reacción, la  $F_2$  es hacia arriba).

Si los conductores paralelos llevan corriente en la **misma dirección**, se **atraen**.

# Espira



# Campo en espira circular



En una espira cuadrada, el campo en el centro es

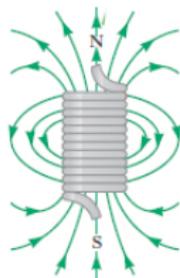
$$B = 4 \times \frac{\mu_0 I}{2\pi R} = \frac{4}{\pi} \left( \frac{\mu_0 I}{2R} \right)$$

$$= (1.27) \left( \frac{\mu_0 I}{2R} \right)$$

El cálculo exacto es

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

# Solenoide (bobina)



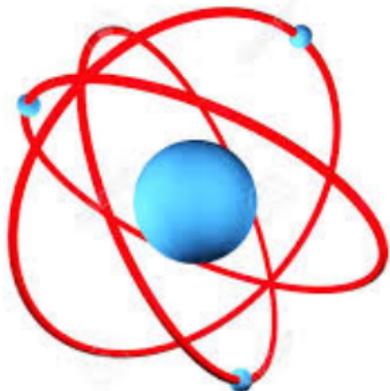
Courtesy of Henry Leap and Jim Lehman

Si una bobina tiene  $N$  espiras, el campo magnético en el centro es aproximadamente:

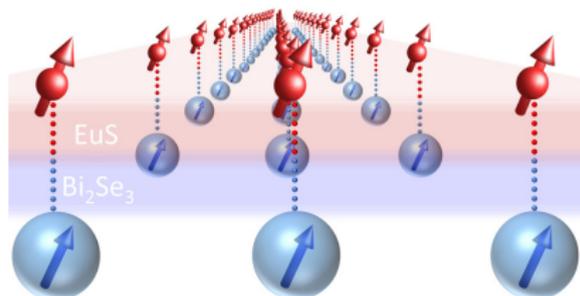
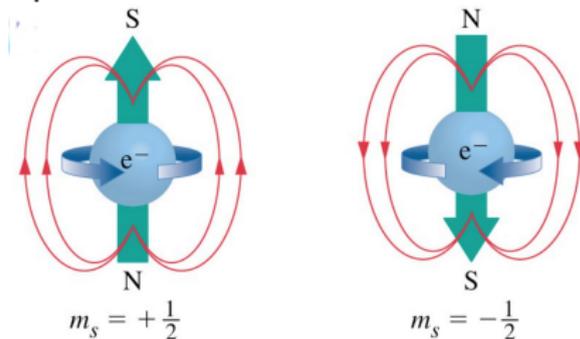
$$B \approx N \frac{\mu_0 I}{2R}$$

# Origen del magnetismo

Momento Orbital

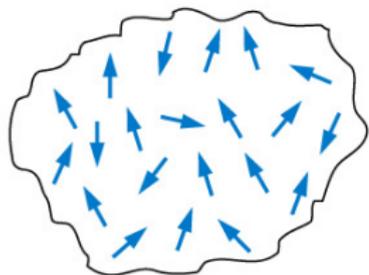


Spin del electrón

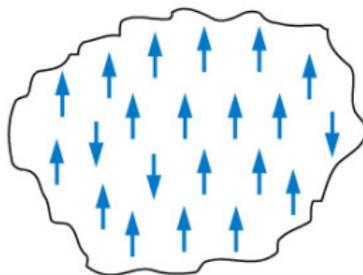


# Origen del magnetismo

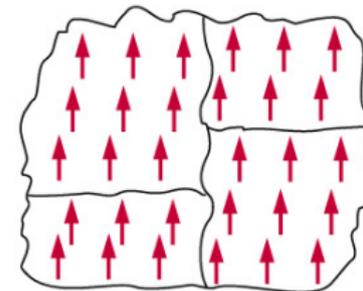
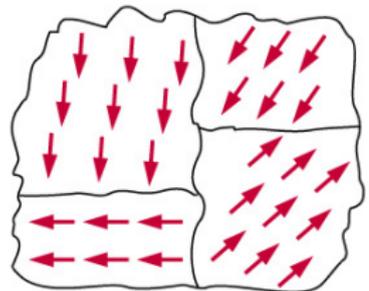
Magnetic field absent



In presence of magnetic field



Paramagnetism



Ferromagnetism

# Bobinas con núcleo

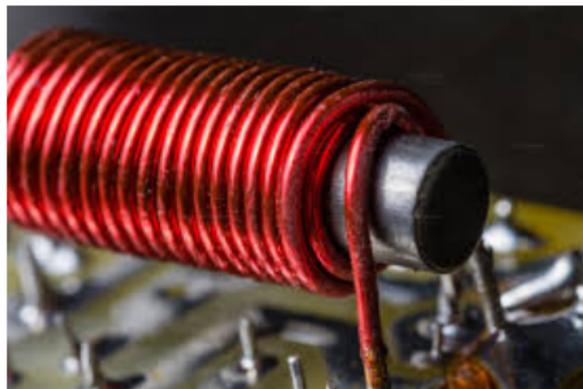
Núcleos



Al aire



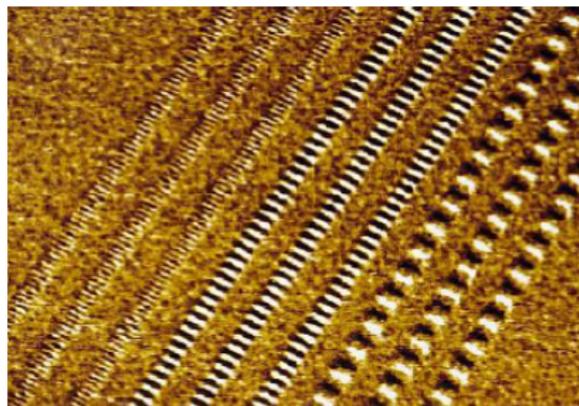
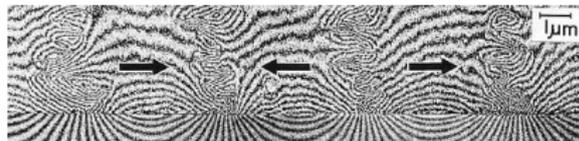
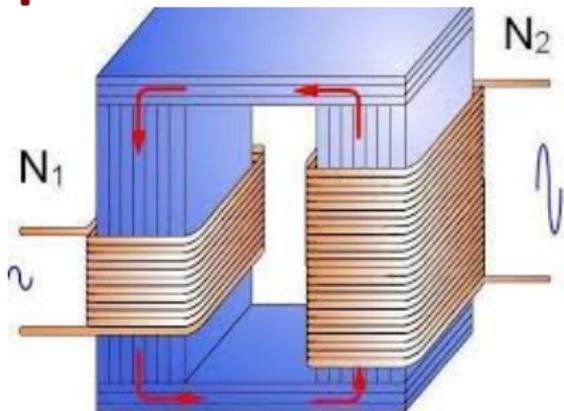
Material ferroso



Cada material tiene un  $\mu$  particular:

$$B \approx N \frac{\mu I}{2R}$$

# Aplicaciones



# Ciclotrón

El campo eléctrico de aceleración se invierte justo en el momento que los electrones finalizan su medio círculo, por lo que al atravesar el hueco los acelera. Con una mayor velocidad, se mueven

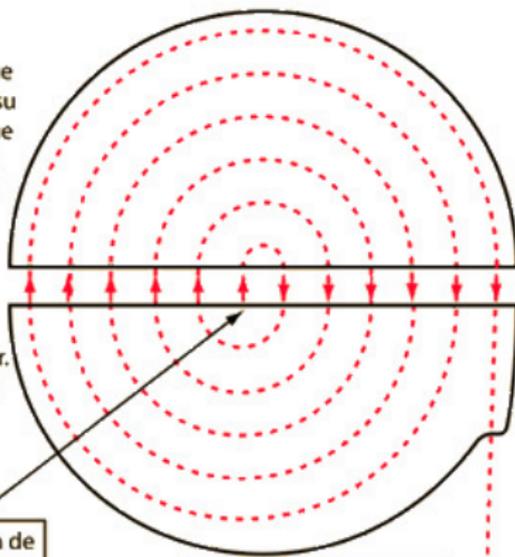


en un semicírculo mayor. Después de repetir este proceso varias veces, salen por la puerta de salida a alta velocidad.

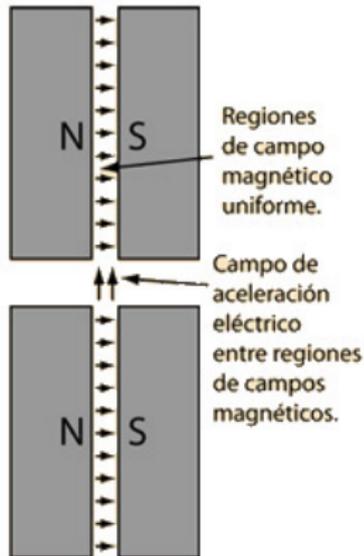
Inyección de electrones

Salida del haz de electrones de alta velocidad.

Vista superior



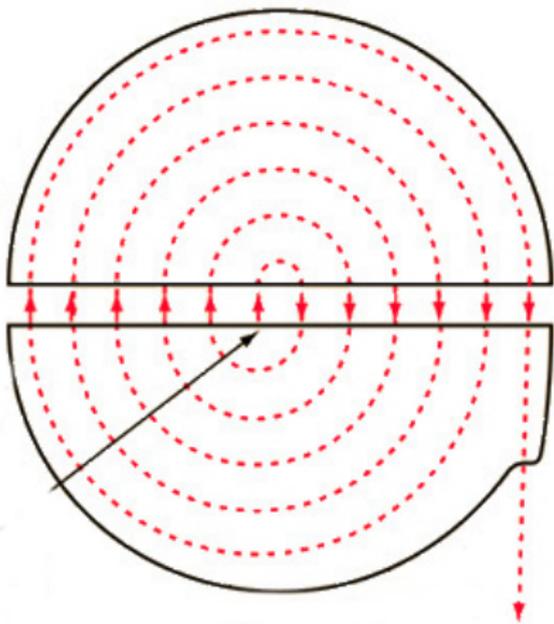
Vista lateral



Regiones de campo magnético uniforme.

Campo de aceleración eléctrico entre regiones de campos magnéticos.

# Ciclotrón

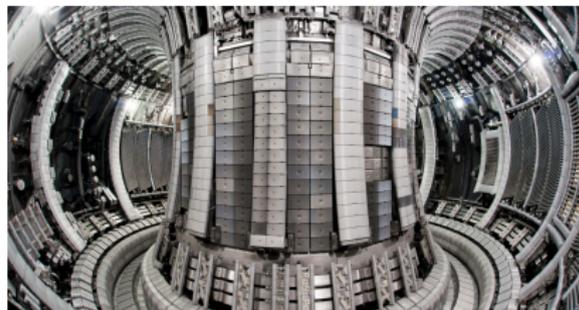


$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m v}{q B v} =$$

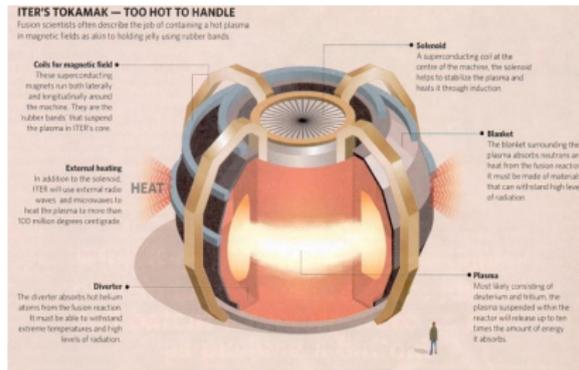
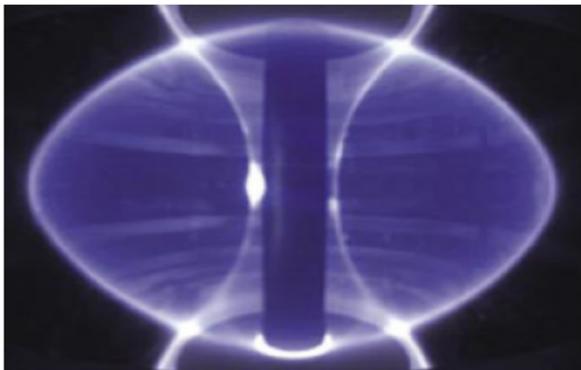
$$= \frac{2\pi m}{q B}$$

Período independiente del radio !!

# Aplicaciones



# Un Sol en la Tierra



# The World FactBook (CIA)

**CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY**  
THE WORK OF A NATION.  
THE CENTER OF INTELLIGENCE.

Report Threats    
Search CIA.gov...   
عربي 中文 English Français Русский Español More ▶

HOME ABOUT CIA CAREERS & INTERNSHIPS OFFICES OF CIA NEWS & INFORMATION LIBRARY KIDS' ZONE

## Library

Library  
**Publications**  
Center for the Study of Intelligence  
Freedom of Information Act Electronic Reading Room  
Kent Center Occasional Papers  
Intelligence Literature  
Reports  
Related Links  
Video Center

Home ▶ Library ▶ Publications ▶ The World Factbook

### THE WORLD FACTBOOK

Please select a country to view ▼

**ABOUT REFERENCES APPENDICES FAQs CONTACT**

VIEW TEXT/LOW BANDWIDTH VERSION  
WORLD FACTBOOK ARCHIVES

WELCOME TO THE WORLD FACTBOOK

The World Factbook provides information on the history, people, government, economy, energy, geography, communications, transportation, military, and transnational issues for 267 world entities. Our Reference tab includes: maps of the major world regions, as well as Flags of the World, a Physical Map of the World, a Political Map of the World, a World Oceans map, and a Standard Time Zones of the World map.

REGIONAL AND WORLD MAPS

WHAT'S NEW ◁ Today is: Monday, October 29  
October 25 2018

# Wolfram Alpha



Enter what you want to calculate or know about



Browse Examples Surprise Me

Compute expert-level answers using Wolfram's breakthrough algorithms, knowledgebase and AI technology

## Mathematics >

Step-by-Step Solutions

Elementary Math

$x^2-1$  Algebra

Plotting & Graphics

$\int f(x) dx$  Calculus & Analysis

Geometry

$y''(x)$  Differential Equations

## Science & Technology >

Units & Measures

Physics

Chemistry

Engineering

Computational Sciences

Earth Sciences

Materials

## Society & Culture >

People

Arts & Media

Dates & Times

$W$   
 $H$   
 $G$   
 $S$   
 $Y$  Words & Linguistics

Money & Finance

Food & Nutrition

Political Geography

## Everyday Life >

Personal Health

Personal Finance

Surprises

Entertainment

Household Science

Household Math

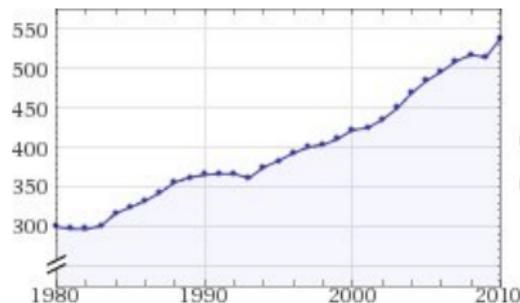
Hobbies

# El problema energético mundial

Según Wolfram Alpha (estimación 2010):

- ▶ Consumo total en **el mundo**:  
 $5.387 \times 10^{20} \text{ J/Yr} = 1.5 \times 10^{14} \text{ kWh / Yr.}$
- ▶ En 1985 el consumo anual fue de 290 ExaJ (EJ =  $10^{18} \text{ J}$ ). Se preveía para el 2025 un consumo de 580 EJ.

Petróleo	$1.8 \times 10^{20} \text{ J/Yr}$
Carbón	$1.6 \times 10^{20} \text{ J/Yr}$
Gas Natural	$1.3 \times 10^{20} \text{ J/Yr}$
Renovables	$4.3 \times 10^{19} \text{ J/Yr}$
Nuclear	$2.6 \times 10^{19} \text{ J/Yr}$



# El problema energético mundial

## Recursos:

### ► Producción Mundial de Petróleo:

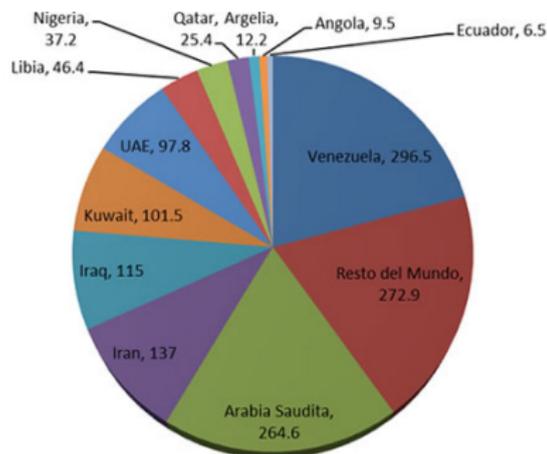
81.8 millones de barriles por día.

### ► Reservas de Petróleo (probadas):

$1.665 \times 10^{12}$  barriles ("trillion").

### ► Simple Cálculo:

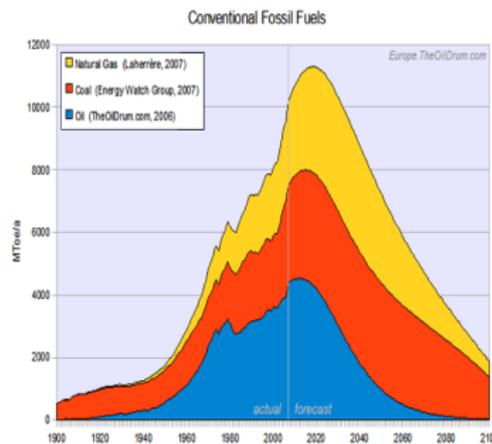
$$\frac{1.665 \times 10^{12}}{81.8 \times 10^6} = 20300 \text{ días} = 56 \text{ años.}$$



# El problema energético mundial

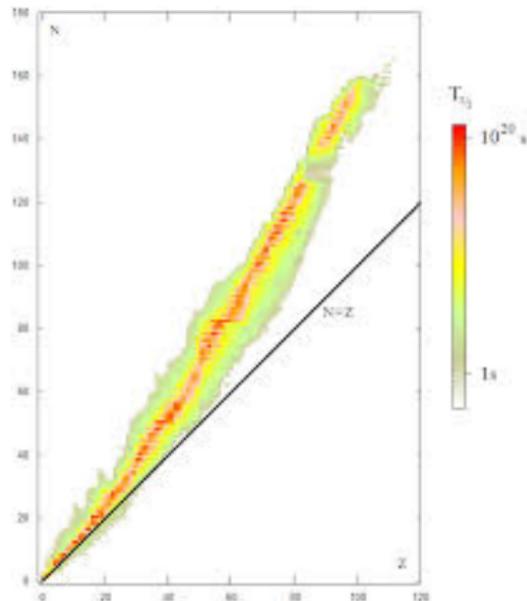
## Recursos:

- ▶ **Energía Fósil:** Se estima que las reservas son  $4 \times 10^{15}$  kWh
- ▶ **Energía Solar:** La energía que llega a la Tierra es  $10^{18}$  kWh. Aún suponiendo una alta eficiencia de conversión, se deberían cubrir cientos de miles de  $\text{km}^2$  para sostener la demanda energética.
- ▶ **Energía Nuclear:**
  1. **Fisión:** Recursos estimados  $\approx 10^{25}$  kWh
  2. **Fusión:** ¿ Solución ?

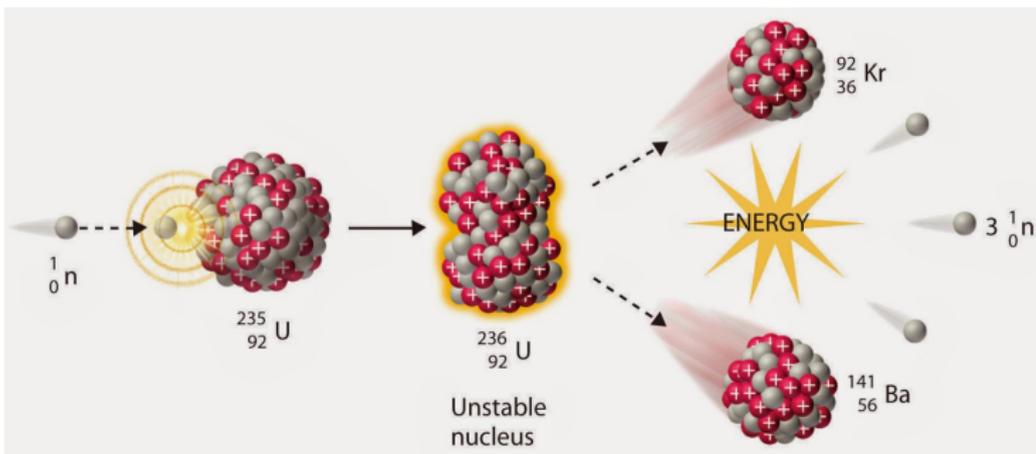


# Estabilidad Nuclear

1. Los núcleos ligeros estables contienen igual número de neutrones que de protones.
2. Los núcleos pesados estables tienen  $N > P$ .
3. Para  $Z > 82$  (Plomo), los núcleos no son suficientemente estables.



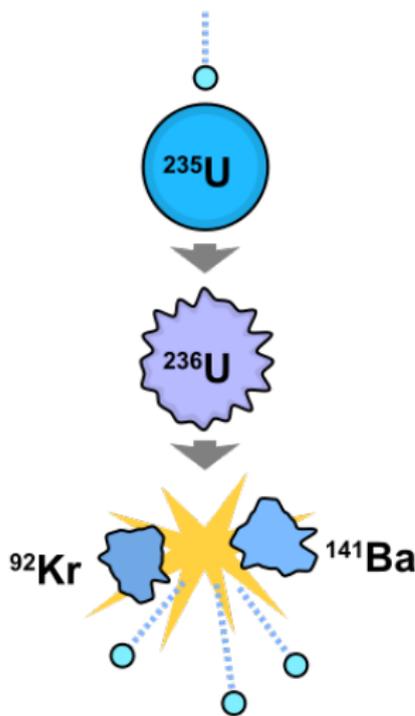
# Fisión



# Fisión

## Ventajas:

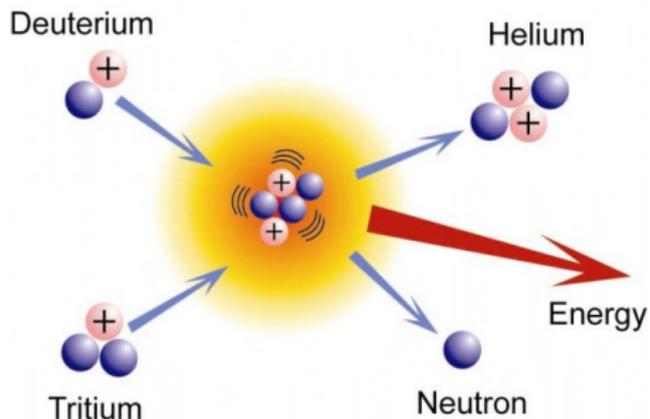
- ▶ Se liberan alrededor de 200 MeV de energía por núcleo.
- ▶ Contenido de  $^{235}\text{U}$ :  $\approx 0.7\%$ .
- ▶ Por cada gramo de U natural, tenemos  $1.8 \times 10^{19}$  átomos  $^{235}\text{U}$ .
- ▶ Esto libera  $3.6 \times 10^{27}$  eV =  $5.8 \times 10^8$  J.
- ▶ 1 Kg del mejor carbón:  $4 \times 10^7$  J. Se necesitan 10 Toneladas de antracita para obtener la misma energía que 1 kg de U.



# Fusión

## Ventajas:

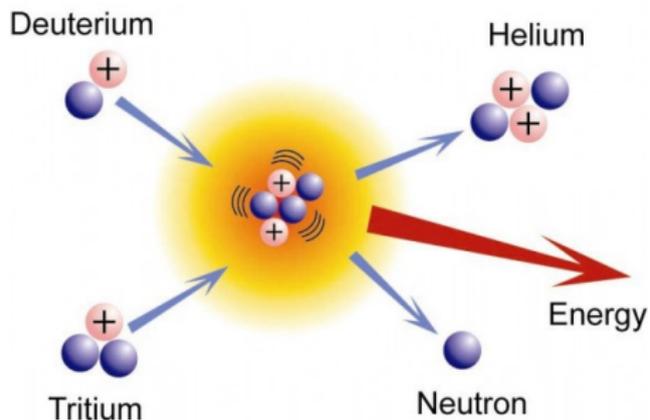
- ▶ Se fusiona Deuterio y Tritio.
- ▶ Esta reacción libera 17.6 MeV
- ▶ En 1 gr, es 7 veces mayor que la energía que se libera de fisión de  $^{235}\text{U}$  puro.
- ▶ Y 1000 veces mayor que en 1 gr de U natural.



# Fusión

## Ventajas:

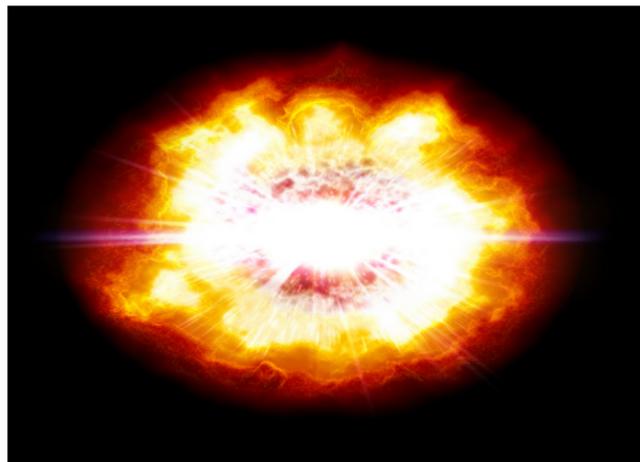
- ▶ Abundancia natural del Deuterio:  $\frac{n_D}{n_H} = \frac{1}{5000}$
- ▶ Recursos ilimitados:  $10^{25}$  kWh
- ▶ No tiene desechos peligrosos
- ▶ Recursos distribuídos equitativamente en el mundo



# Fusión

## Ventajas:

- ▶ Abundancia natural del Deuterio:  $\frac{n_D}{n_H} = \frac{1}{5000}$
- ▶ Recursos ilimitados:  $10^{25}$  kWh
- ▶ No tiene desechos peligrosos
- ▶ Recursos distribuídos equitativamente en el mundo
- ▶ **Funciona!**



# Abordaje Experimental: Máquinas de Plasma

Se deben resolver dos problemas fundamentales:

1. **Calentamiento del Plasma:** Crear y calentar el plasma D-T hasta las condiciones de ignición

# Abordaje Experimental: Máquinas de Plasma

Se deben resolver dos problemas fundamentales:

1. **Calentamiento del Plasma:** Crear y calentar el plasma D-T hasta las condiciones de ignición
2. **Confinamiento del Plasma:** Contener el plasma en las condiciones del criterio de Lawson. Ningún material puede mantenerse sólido en 5000 K

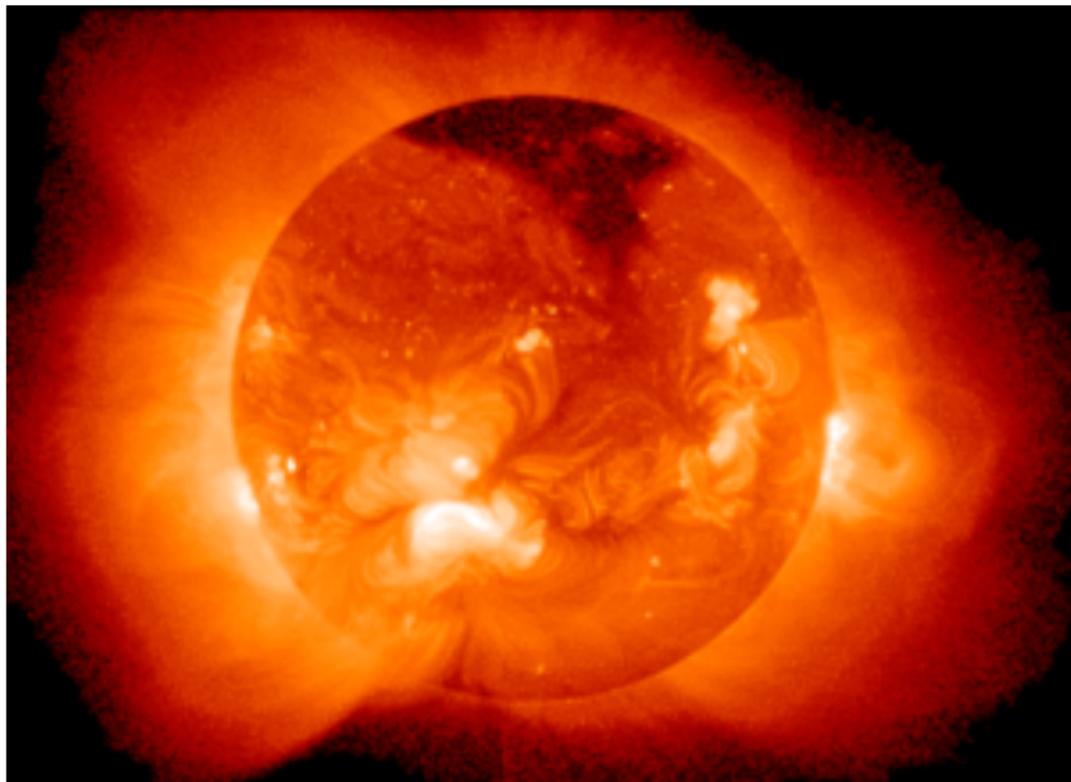
# Abordaje Experimental: Máquinas de Plasma

Se deben resolver dos problemas fundamentales:

1. **Calentamiento del Plasma:** Crear y calentar el plasma D–T hasta las condiciones de ignición
2. **Confinamiento del Plasma:** Contener el plasma en las condiciones del criterio de Lawson. Ningún material puede mantenerse sólido en 5000 K

Existen otros problemas: Pérdidas por radiación, Inestabilidades, Deterioro, Contaminación, etc. . . .

# Confinamiento Gravitatorio



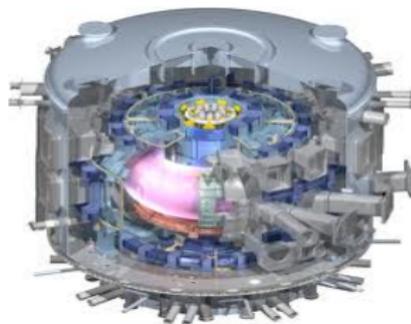
# Máquinas de Plasma

Existen dos abordajes con grandes probabilidades de éxito:

# Máquinas de Plasma

Existen dos abordajes con grandes probabilidades de éxito:

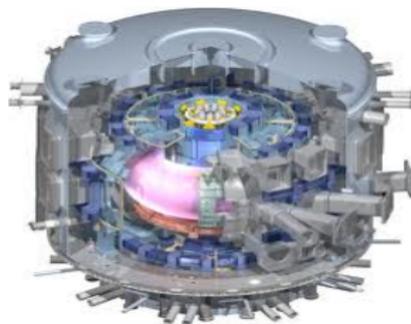
- ▶ **Confinamiento Magnético**



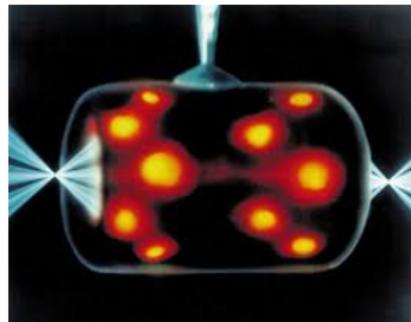
# Máquinas de Plasma

Existen dos abordajes con grandes probabilidades de éxito:

▶ **Confinamiento Magnético**



▶ **Confinamiento Inercial**



# Confinamiento Magnético

- ▶ El plasma se compone de partículas cargadas
- ▶ La trayectoria de estas son hélices alrededor de las líneas del campo magnético
- ▶ La presión magnética debe balancear la presión cinética del plasma

# Confinamiento Magnético

## Fuerza de Lorentz:

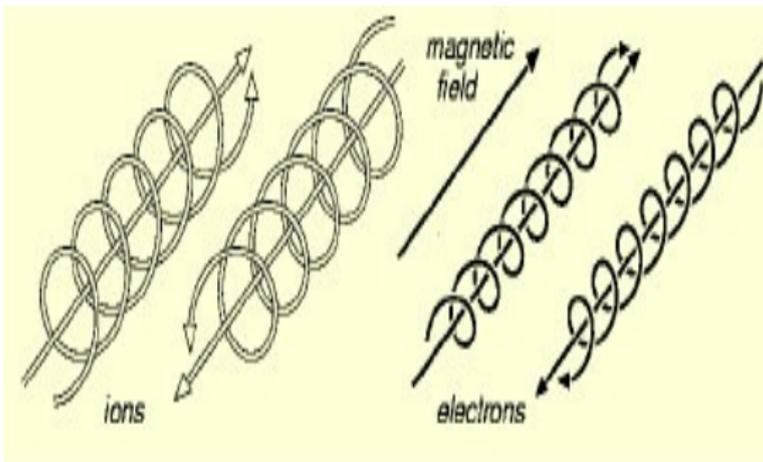
$$F_L = q(v \times \mathbf{B})$$

## Radio de Larmor:

$$r_L = \frac{mv_{\perp}}{qB}$$

## Frecuencia de ciclotrón:

$$\omega_c = \frac{v_{\perp}}{r_L} = \frac{qB}{m}$$

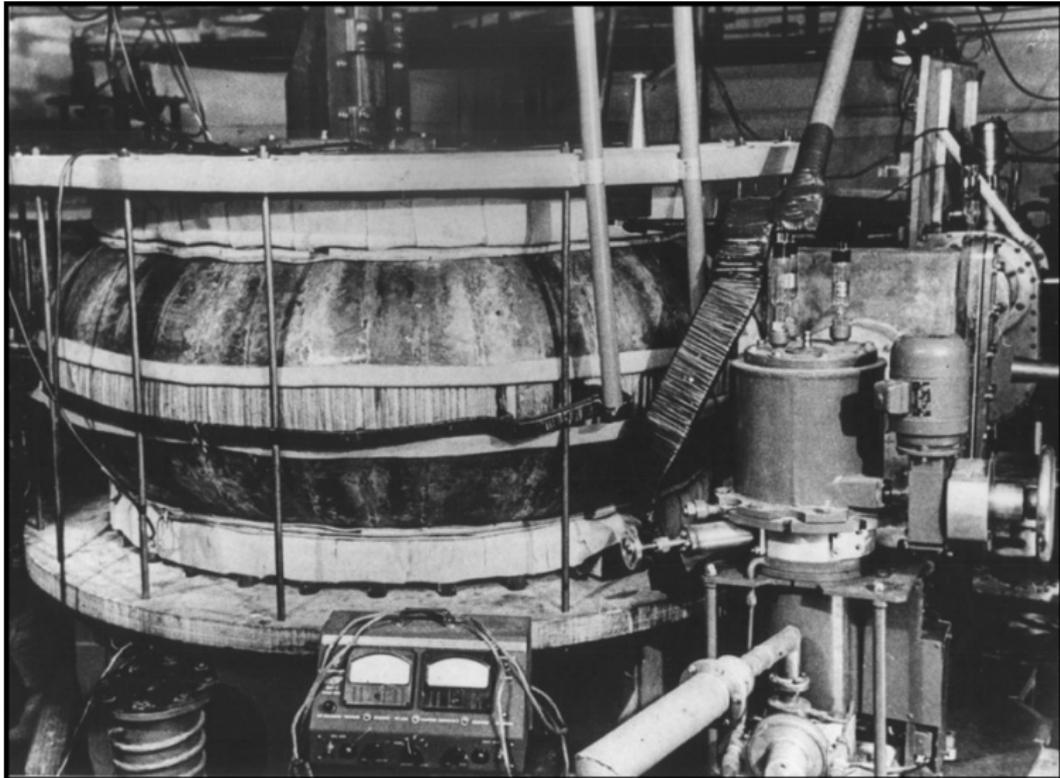


A temperaturas de fusión:

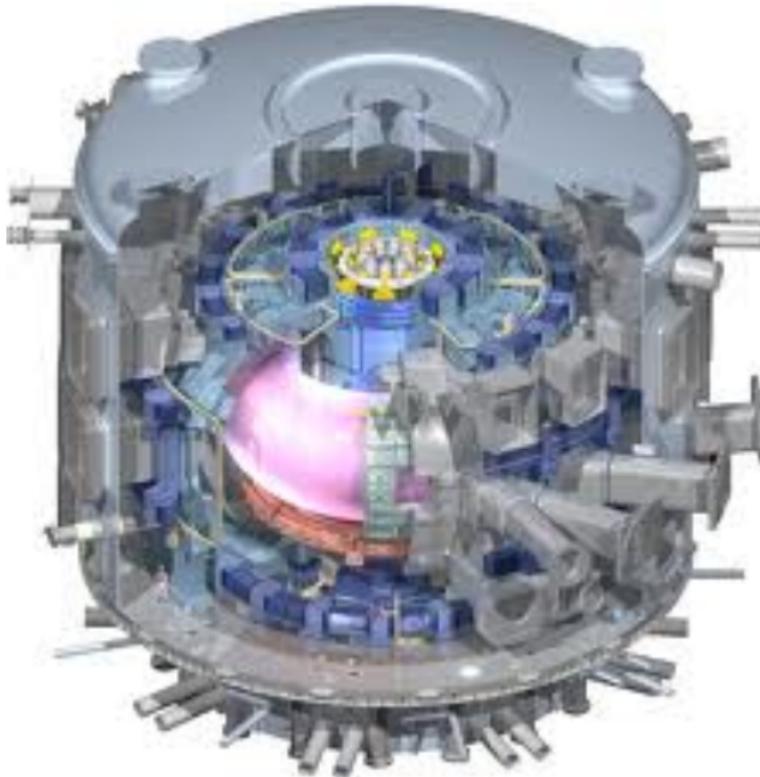
$$r_p \approx 1 \text{ cm} \quad r_e \approx 0.2 \text{ mm}$$

Para confinar a un  $t = \frac{L}{v_{\parallel}} = 1 \text{ s}$ ,  
 $L > 1000 \text{ km}$

# El Tokamak (URSS 1950)

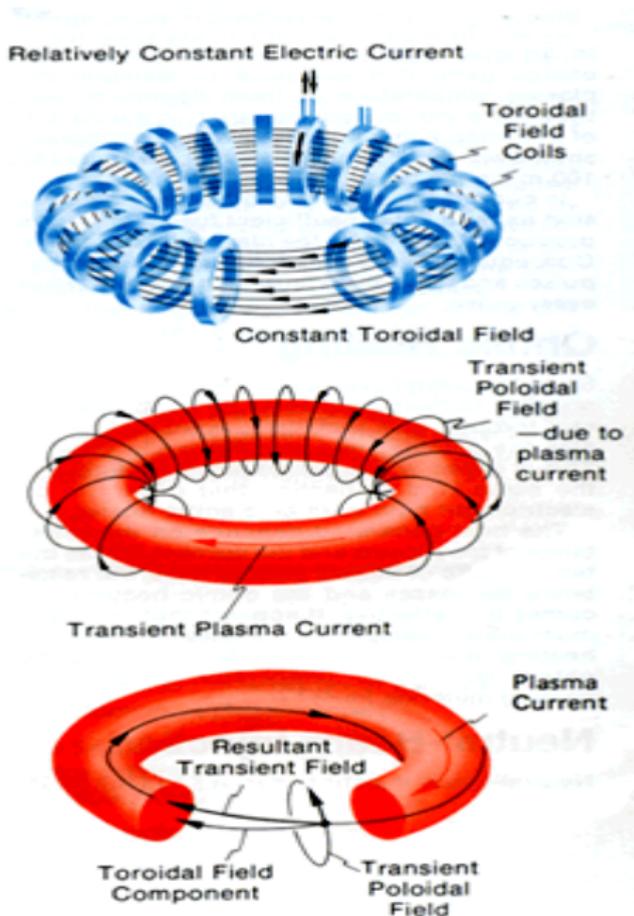


# El Tokamak (URSS 1950)



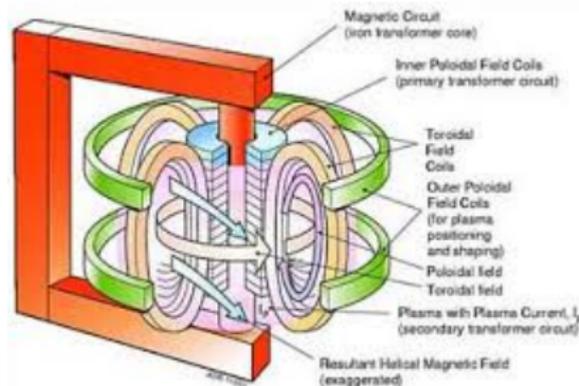
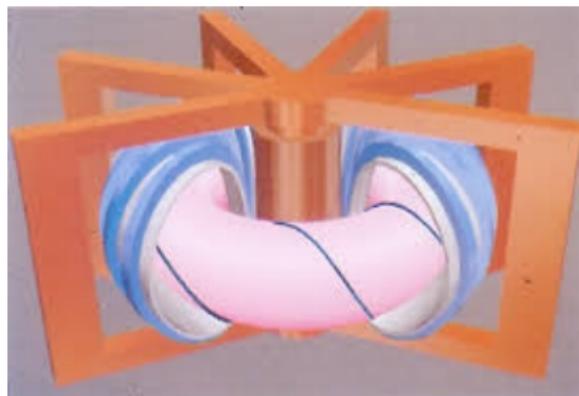
# Tokamaks

- ▶ Campo Toroidal: confina y estabiliza el plasma
- ▶ Campo Poloidal: generado por el plasma
- ▶  $B_t \gg B_p$

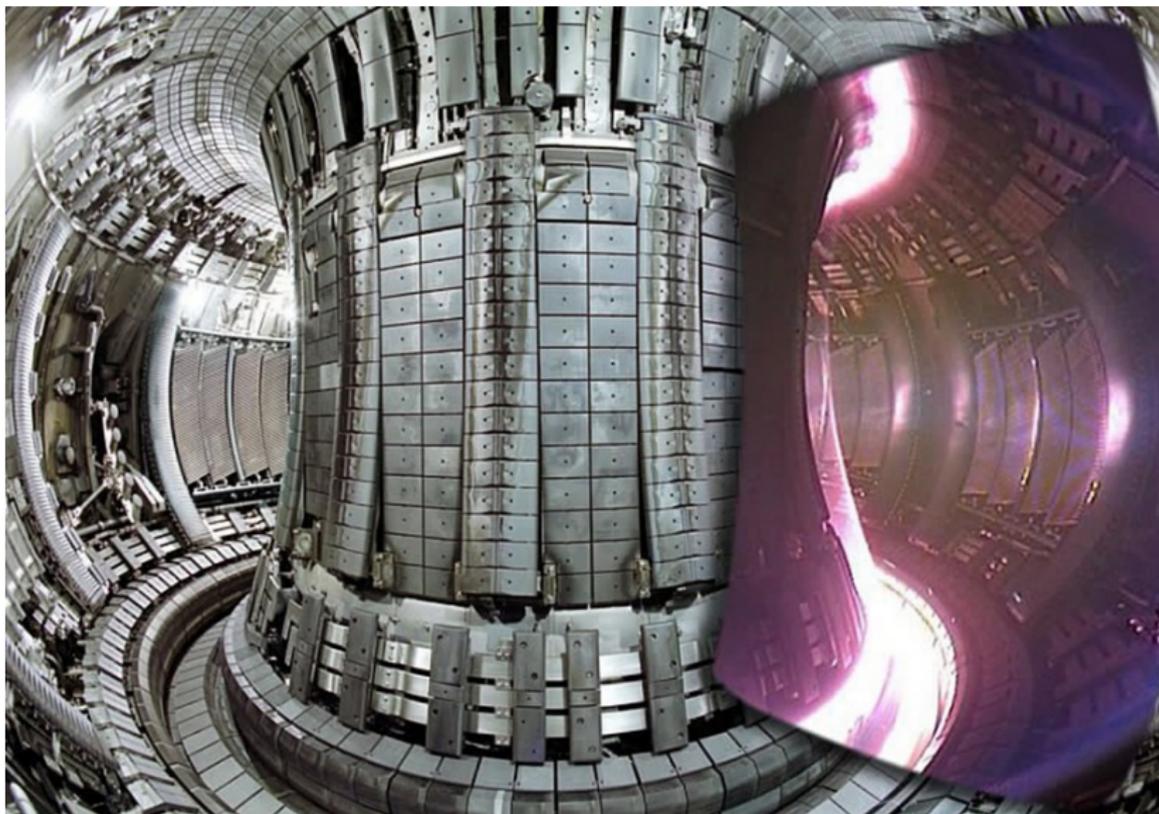


# ¿Cómo se origina la corriente?

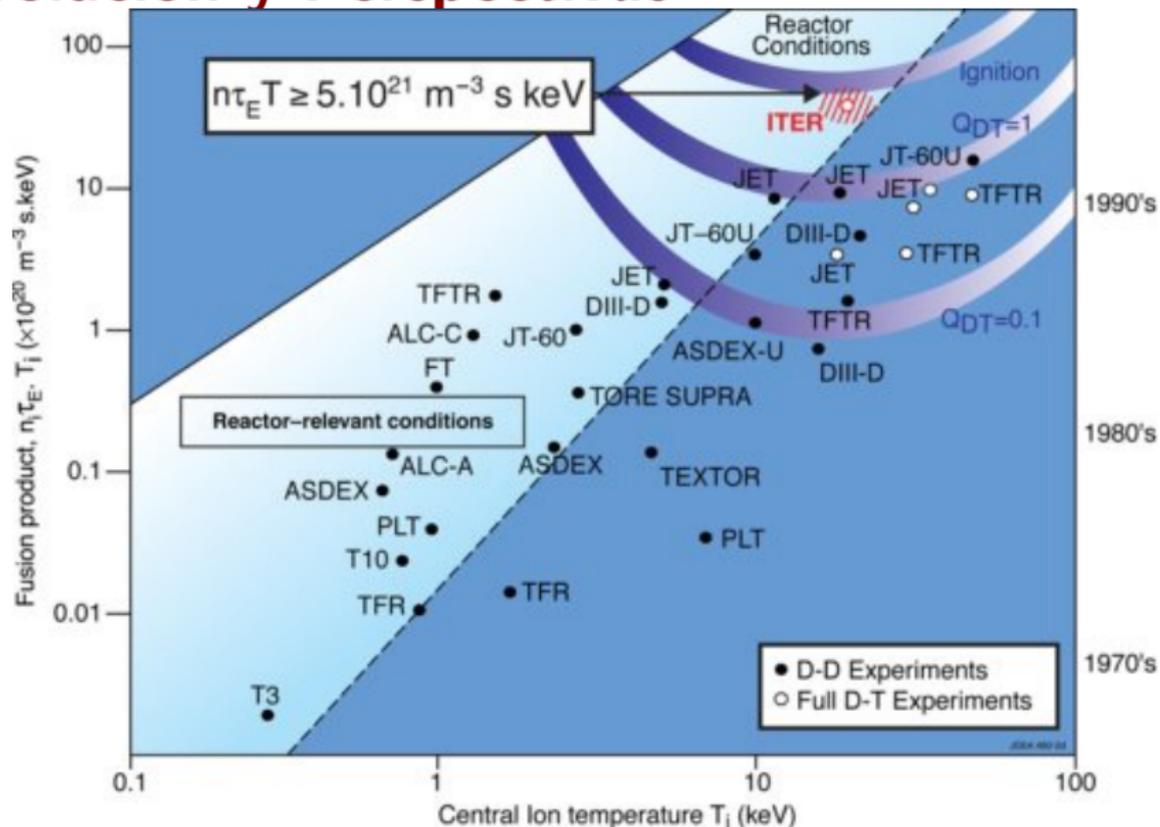
- ▶ El plasma no tiene extremos, no se puede generar una diferencia de potencial
- ▶ Se utiliza el principio de inducción de Faraday
- ▶ El transformador tiene dos bobinas enrolladas en un núcleo común
- ▶ En este caso el primario está enrollado en el interior del toroide, y el secundario lo constituye el mismo plasma



# JET

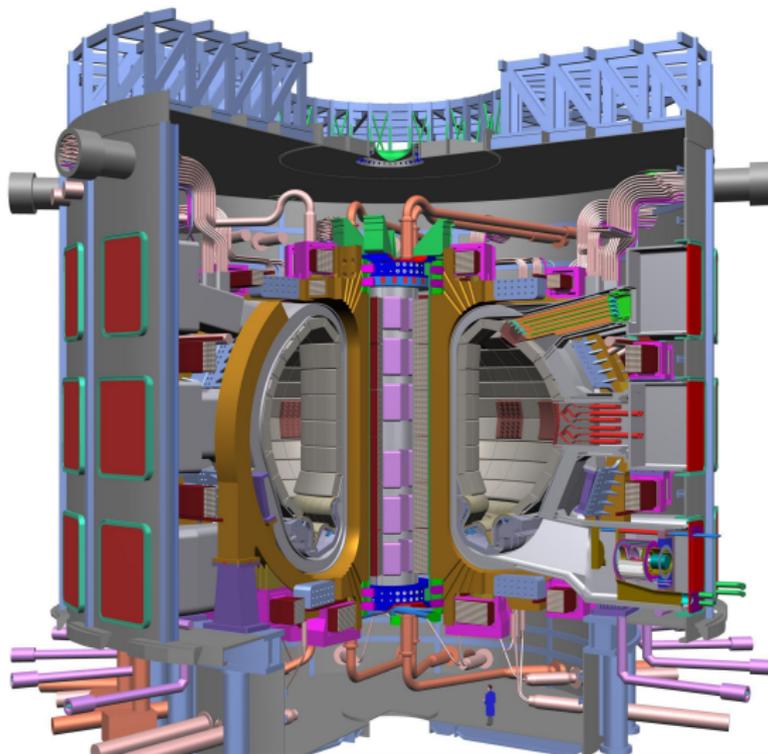


# Evolución y Perspectivas



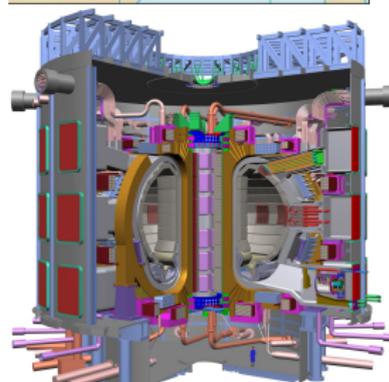
# ITER

International Thermonuclear Experimental Reactor



# ITER

## International Thermonuclear Experimental Reactor



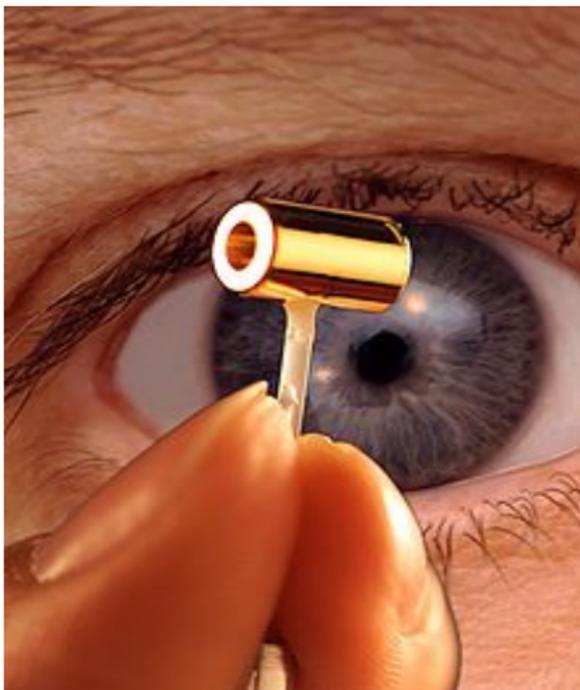
# Confinamiento Inercial



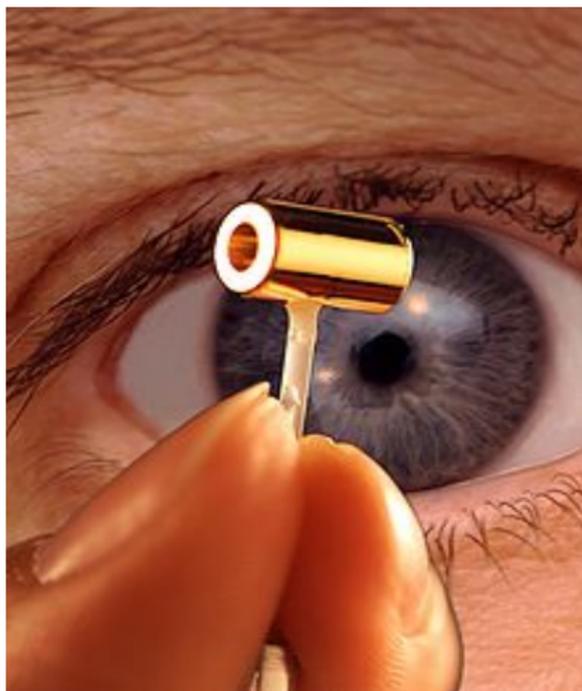
# Confinamiento Inercial



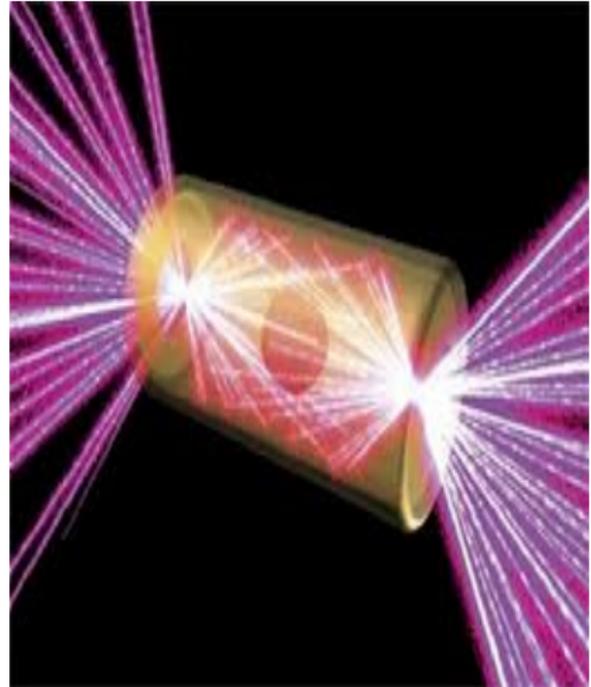
# Confinamiento Inercial



# Confinamiento Inercial



# Confinamiento Inercial



# Confinamiento Inercial

