

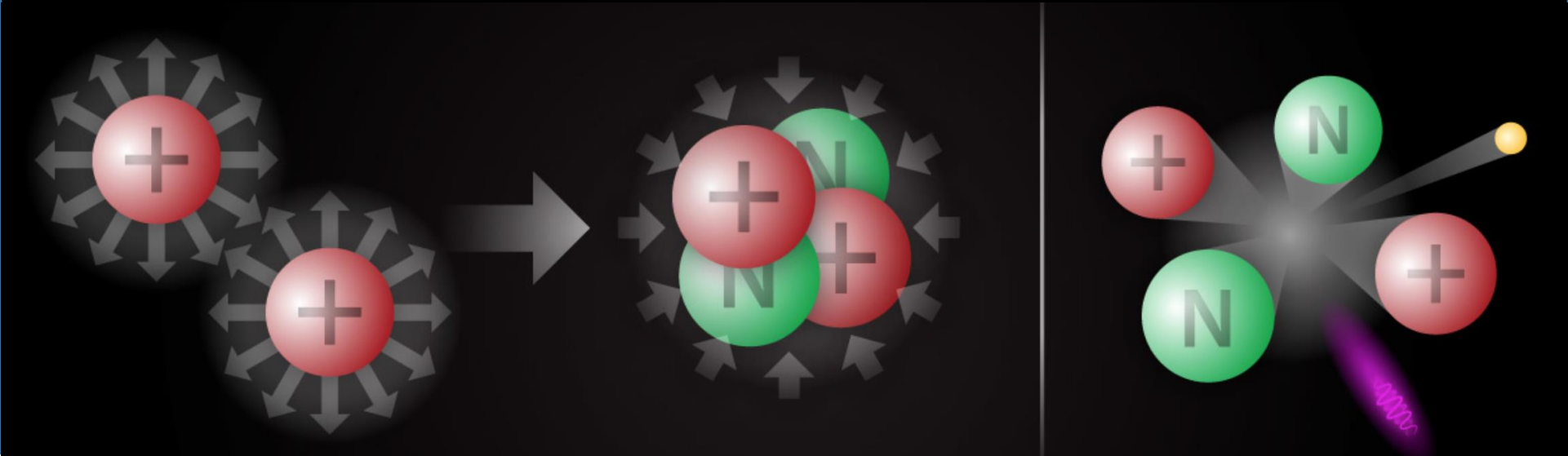
# El Cerebro : campos electromagnéticos

Antonio Hernando

# **En la naturaleza existen cuatro tipos de fuerzas o interacciones fundamentales :**

- 1. Nuclear fuerte**
- 2. Nuclear débil**
- 3. Electromagnética**
- 4. Gravitatoria**

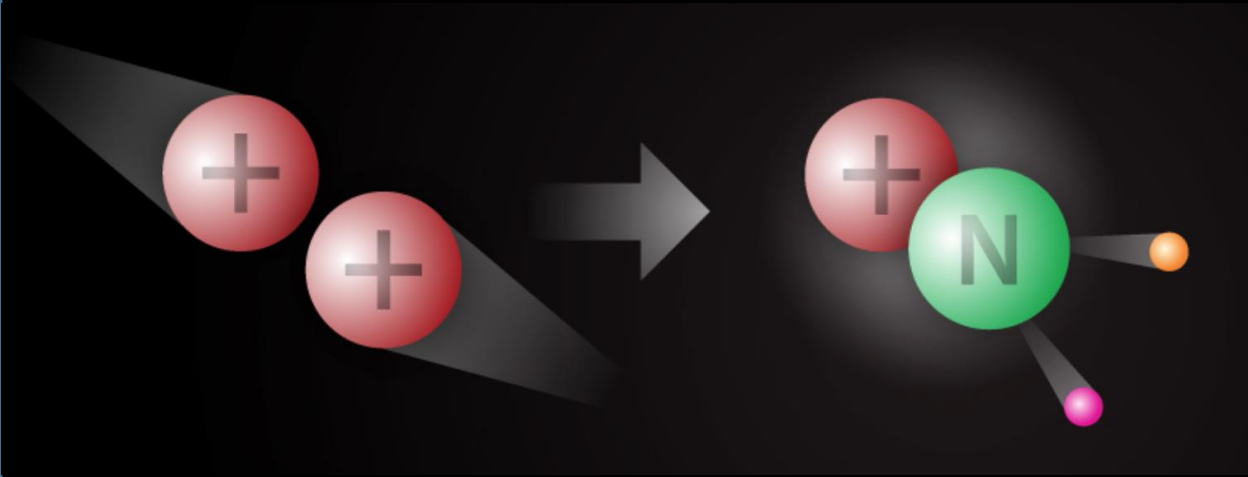
## Fuerza nuclear fuerte



### Mantiene unidos los componentes del núcleo atómico

- Actúa indistintamente entre dos nucleones (protones o neutrones).
- Su alcance es muy corto, del orden de las dimensiones nucleares: aprox 1 fm [1 femtometro=  $10^{-15}\text{m}$ ].

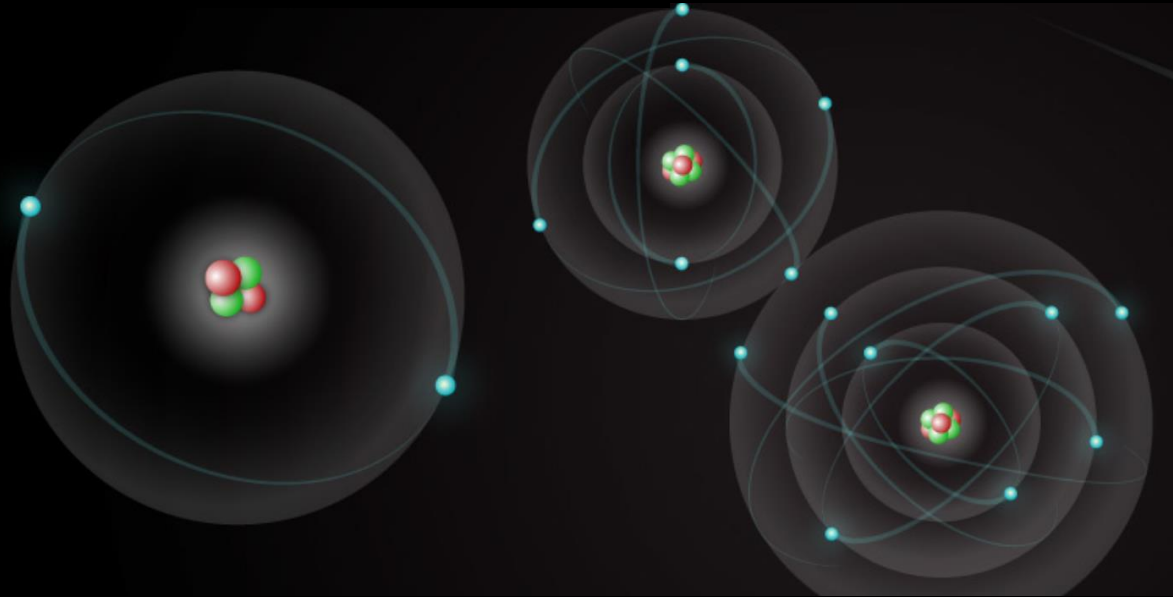
# Fuerza nuclear débil



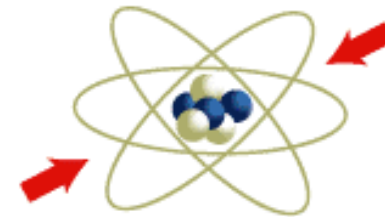
## Convierte protones en neutrones

- La fuerza o interacción **nuclear débil** es la responsable de la desintegración beta de los neutrones; los neutrinos son sensibles únicamente a este tipo de interacción.
- Su intensidad es menor que la de la fuerza electromagnética.
- Su alcance es aún menor que el de la interacción nuclear fuerte.

# Fuerza electromagnética

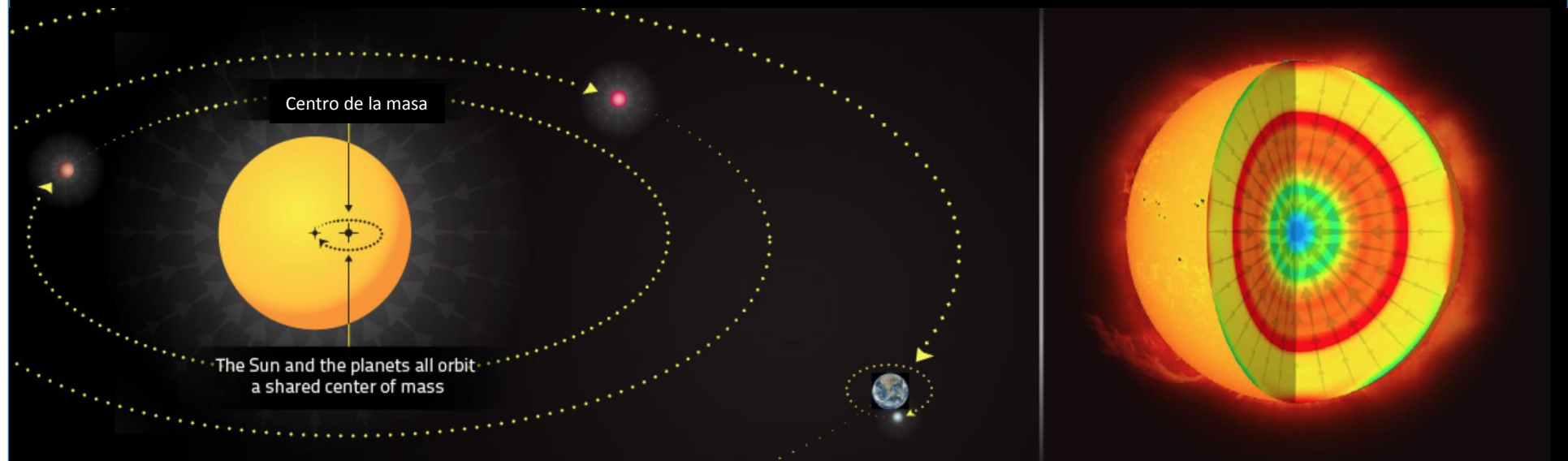


Mantiene el átomo unido



Y las moléculas—Química-Biología.  $1\text{eV} \gg \text{KT}$

# Fuerza gravitatoria



- Es la fuerza de atracción que un trozo de materia ejerce sobre otro.
- Afecta a todos los cuerpos.
- Forma estrellas, planetas y lunas.
- La gravedad es una fuerza muy débil y de un sólo sentido, pero de alcance infinito.
- Depende de la masa y la distancia

## CREANDO ENERGIA

Crea la presión que permite la producción de energía de fusión en el núcleo de las estrellas (durante millones de años).

## ¿Desde cuando se conocen los fenómenos electromagnéticos?

Es una fuerza fundamental de la naturaleza

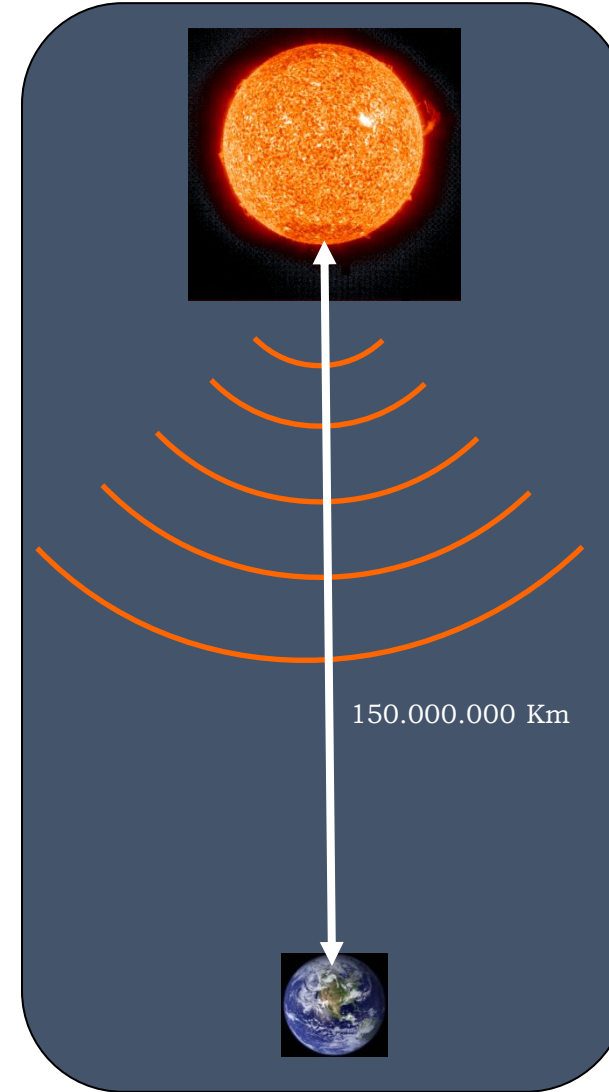
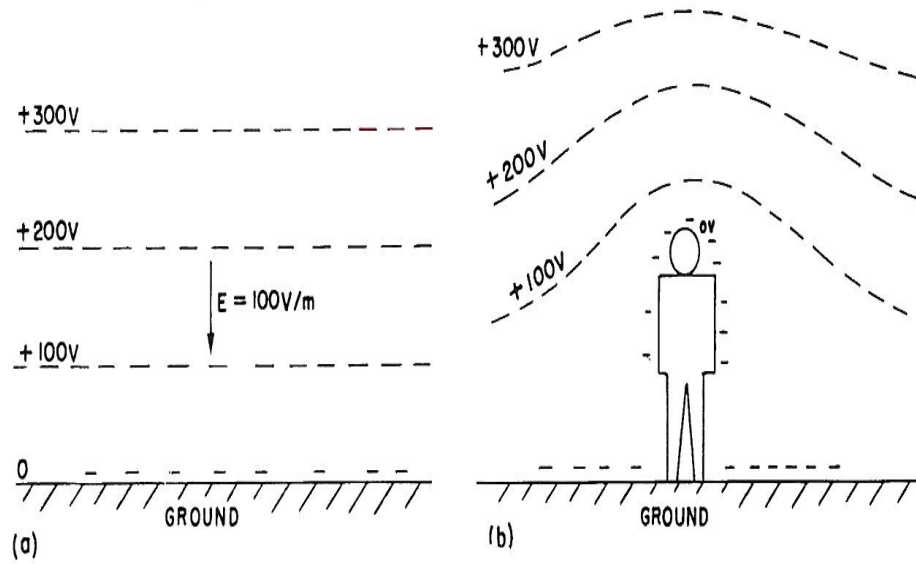
Tierra 4600 Millones años  
Nuestros primeros ancestros 1 M.  
año

Neolítico---

Primera recopilación: William  
Gilbert 1600

**Luz de las estrellas**  
**Relámpagos**  
**Auroras polares**  
**Imanes**  
**Descargas electrostáticas**

# Biosfera como entorno: CEM



$$E = 230 Wm^{-2}$$

99% entre 0.5-4 $\mu$  visible  
0.38-0.83  $\mu$ .  
E=2eV



# LA TIERRA ES UN GRAN IMÁN PERMANENTE



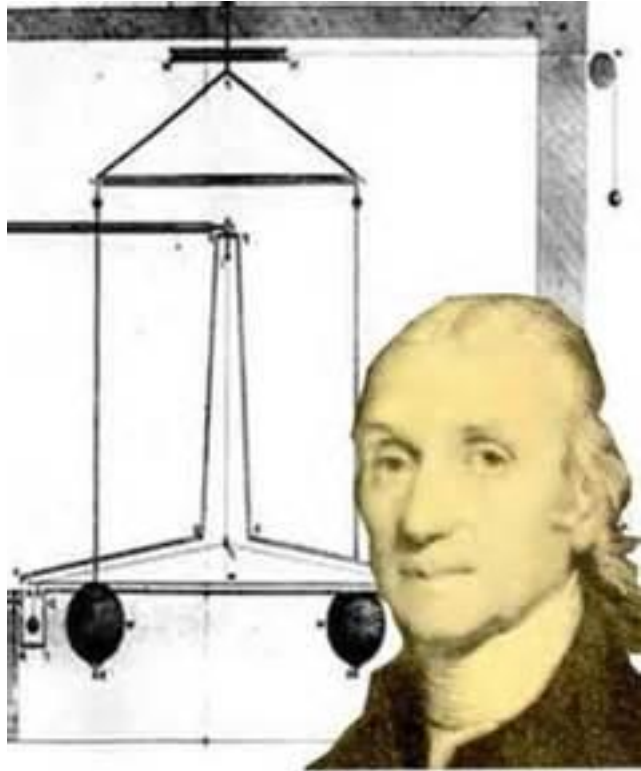
Escribe **Gilbert** en el prólogo del libro “De Magnete” en 1600:

*“Las razones poderosas se obtienen de los experimentos seguros y de los argumentos demostrados mas que de conjeturas probables y de las opiniones de filósofos especuladores”.*

**QUIMICA** (enlace)

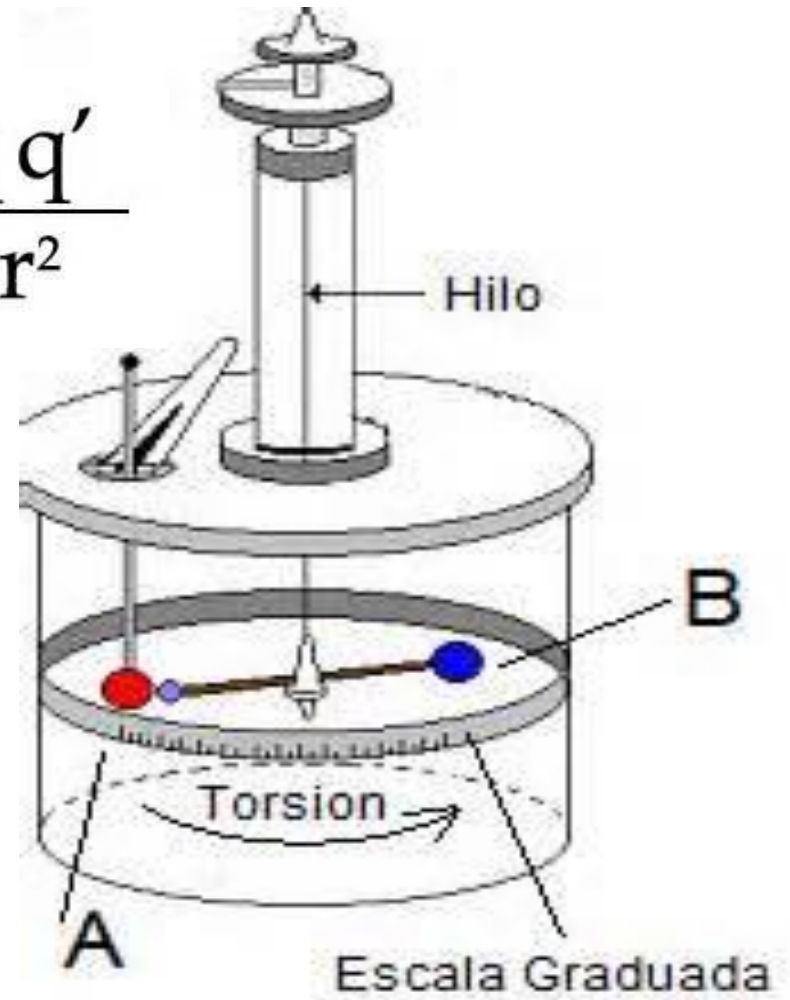
**BIOLOGIA**

***Interacción electromagnética***



1785

$$F = K \frac{qq'}{r^2}$$

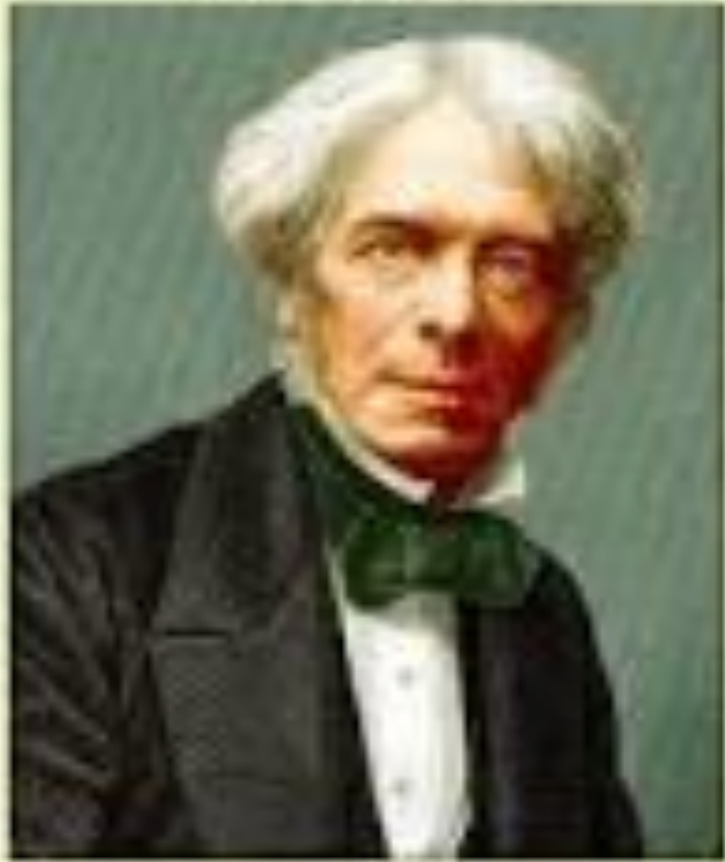


$$k = 8,99 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

La **Balanza de torsión** de Mitchell está constituida por un material elástico sometido a torsión

On the Various Forces of Nature and  
Their Relations to Each Other

Michael Faraday



Published by the Librarians of Alexandria

Made in the United States of America

Ley de Faraday 1831

**Transporte de Energía**

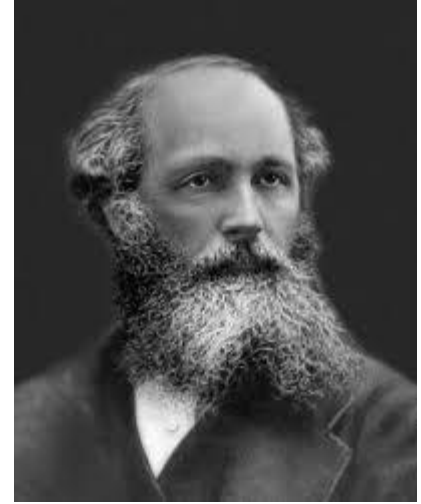
# Las ecuaciones de Maxwell

Síntesis. Electricidad, Magnetismo y Optica

La Mecánica Cuántica y la Teoría restringida de la Relatividad revolucionan en la primera mitad del siglo XX la Física Clásica. Pero...

La teoría del Electromagnetismo queda intacta  
«Los cálculos de electrodinámica cuántica coinciden con los resultados experimentales con precisión inhumana», F. Ynduráin

El descubrimiento de los electrones y de los átomos permitió comprender que la química y la vida, como un subconjunto de ella, son manifestaciones de las leyes del **Electromagnetismo** en un marco cuántico

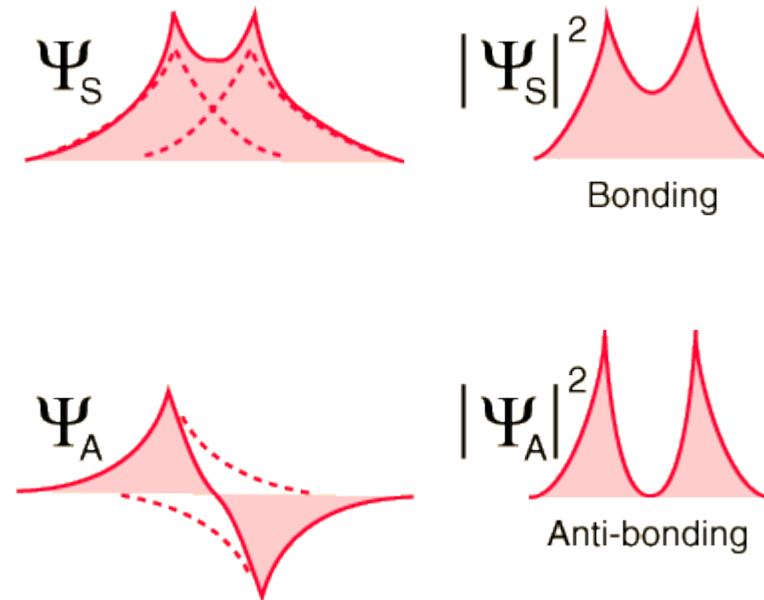
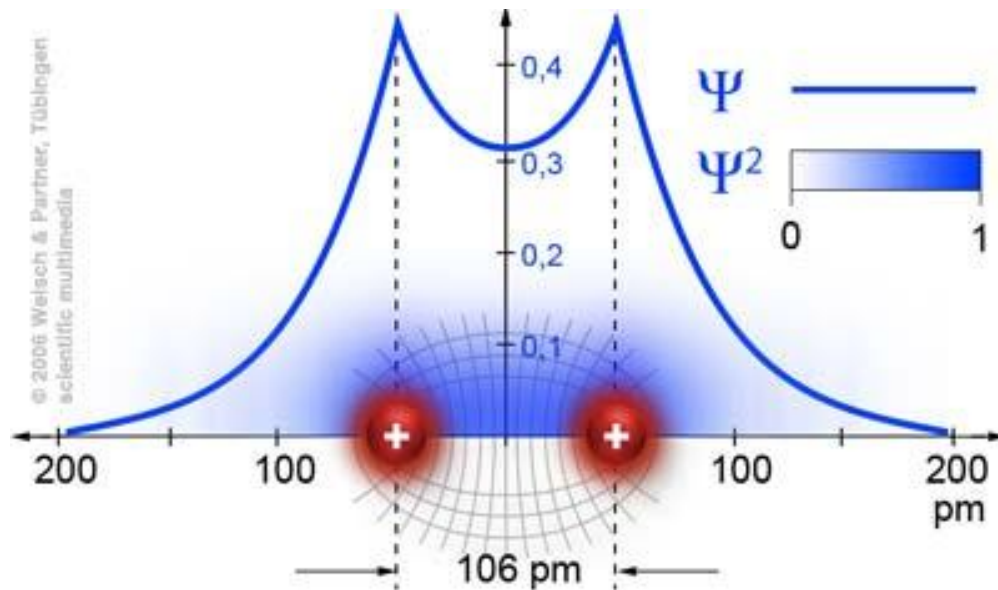
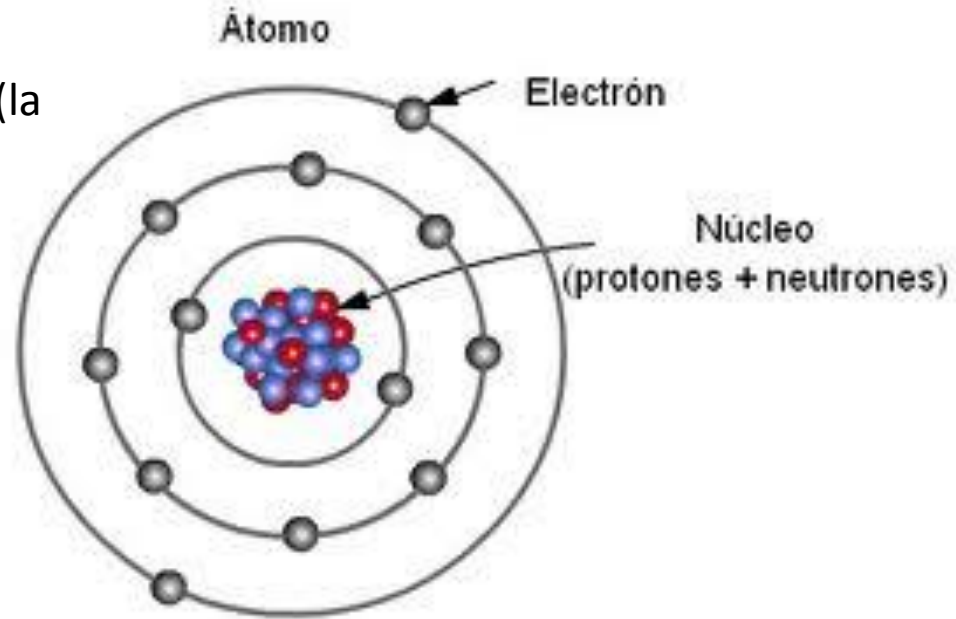


1865

Ley de Coulomb + Confinamiento  
Radio de Bohr (15m): la materia está hueca (la masa 1mm)  
Radiación según Maxwell

**Siglo XX**

**Energías de enlace**  
**Moléculas eV**  
**Átomos decenas y centenares de eV**





Fotones paquetes de energía =  $h\nu$

Longitud onda  
metros



**NO IONIZANTES**

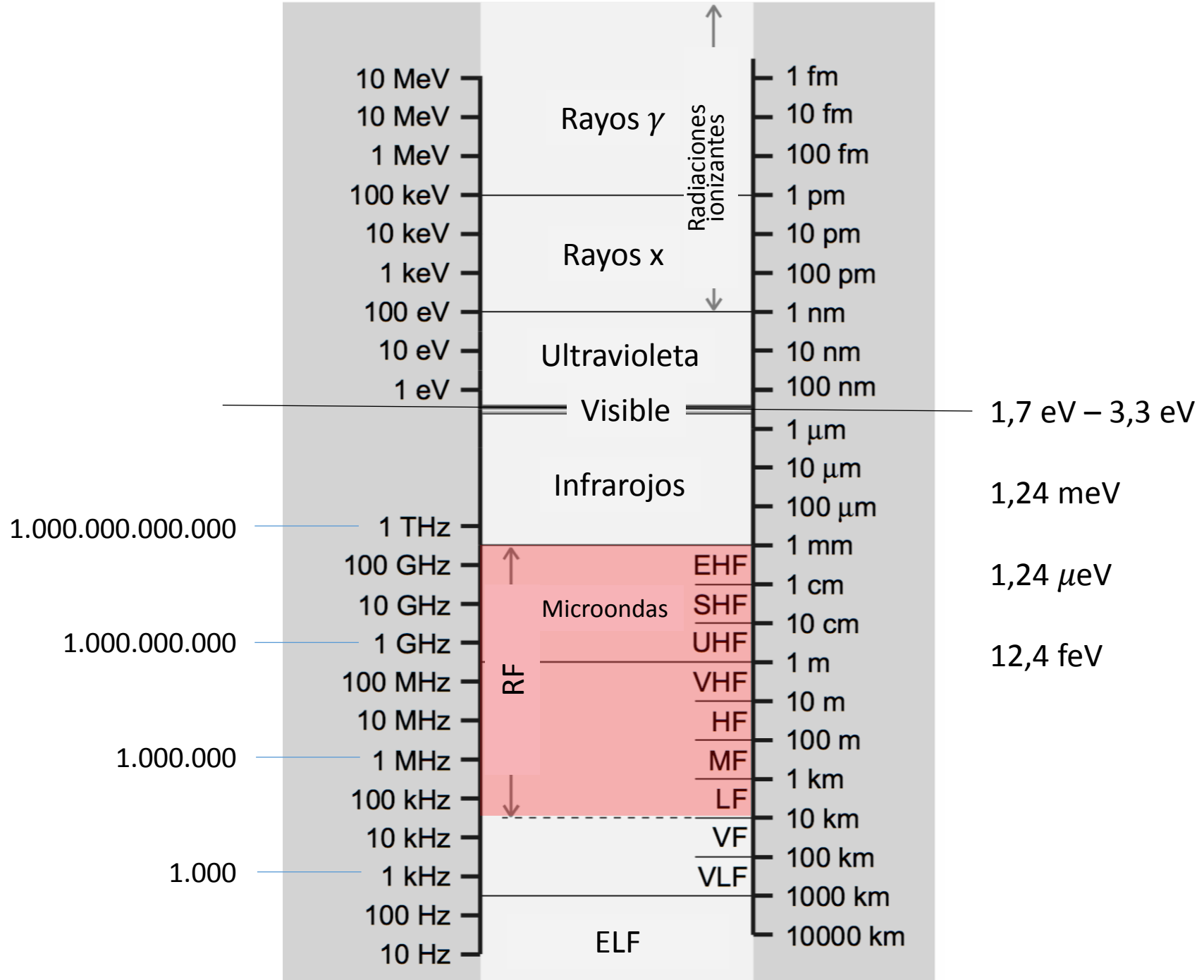
**IONIZANTES**

FRECUENCIA



ENERGIA  
eV








# VIDA. TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA

1992 June 07

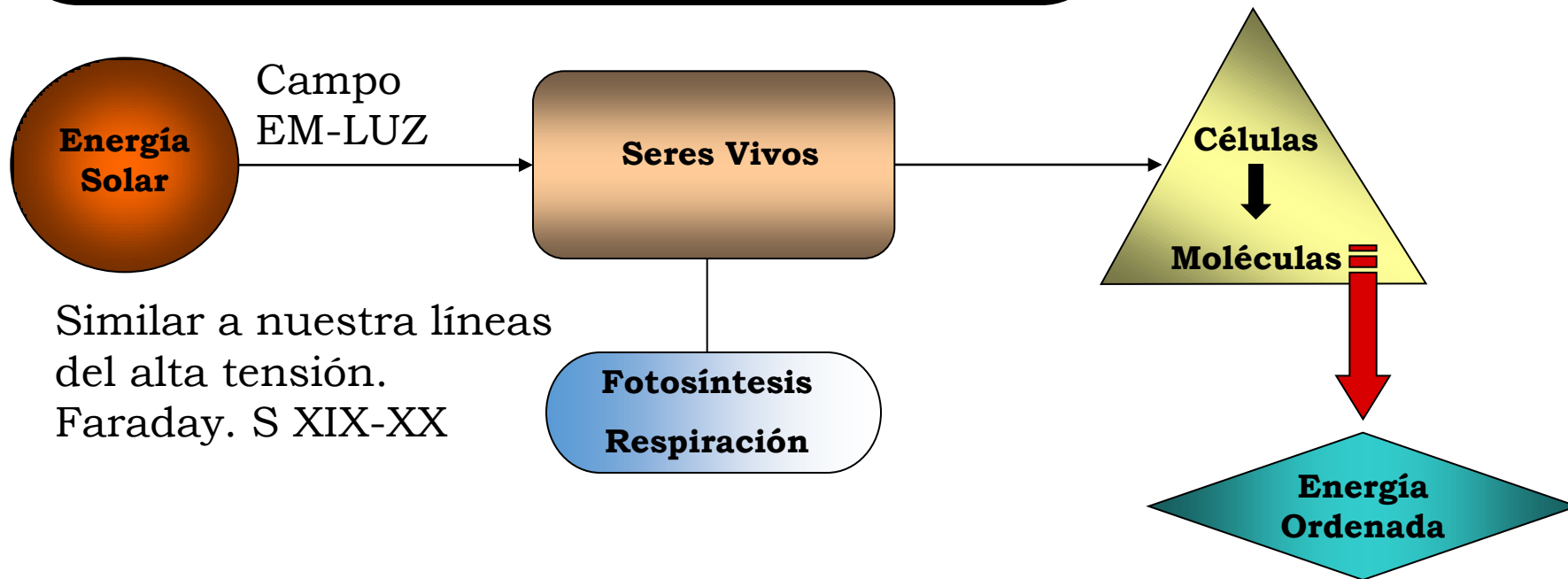


**Energía de Sol:**

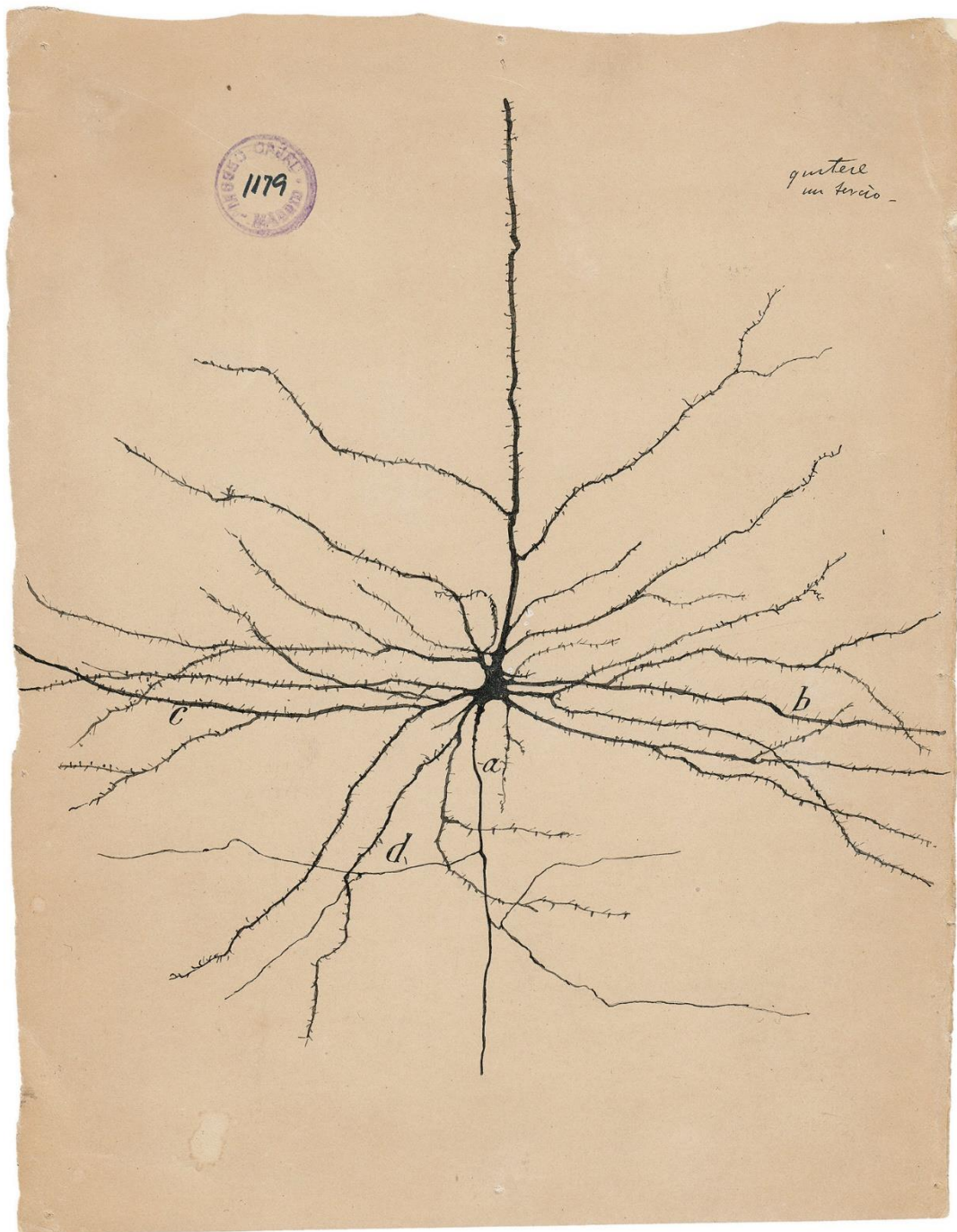
- Temperatura de la superficie 5780 K
- Temperatura de la corona  $5 \times 10^6$  K
- Temperatura del núcleo  $\sim 1,36 \times 10^7$  K

NÚCLEO  $\Rightarrow$  Fusión

FOTOSFERA  $\Rightarrow$  Energía Electromagnética

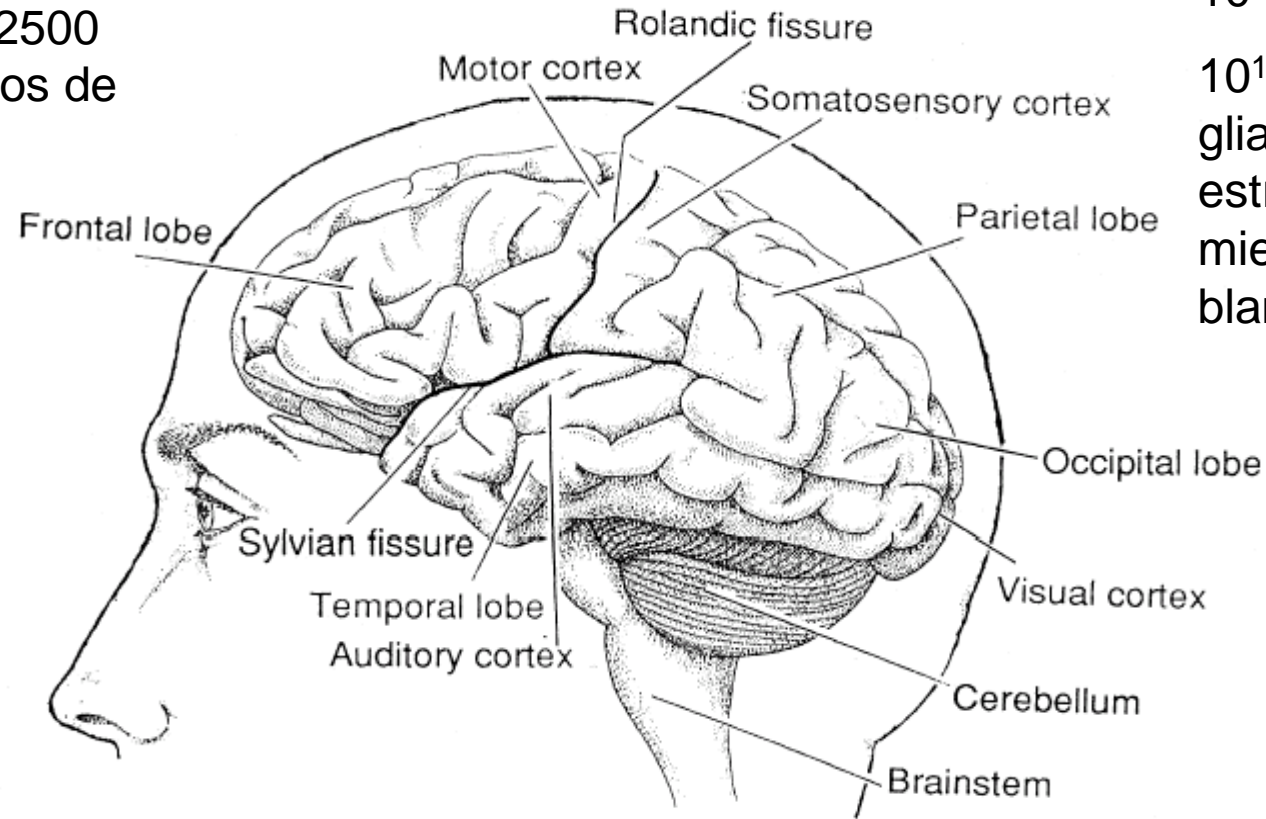


1791 Galvani observó el carácter eléctrico de las señales nerviosas. Von Helmholtz ,en el siglo XIX, midió la velocidad de propagación ,90 pies por segundo, mientras que la de la corriente en un metal es de 186000 millas por segundo. Conducción activa



# Anatomía

Cortex 2 a 4 mm de espesor de tejido gris. 2500 cm<sup>2</sup> plegados de superficie



10<sup>11</sup> neuronas,  
10<sup>14</sup> sinapsis

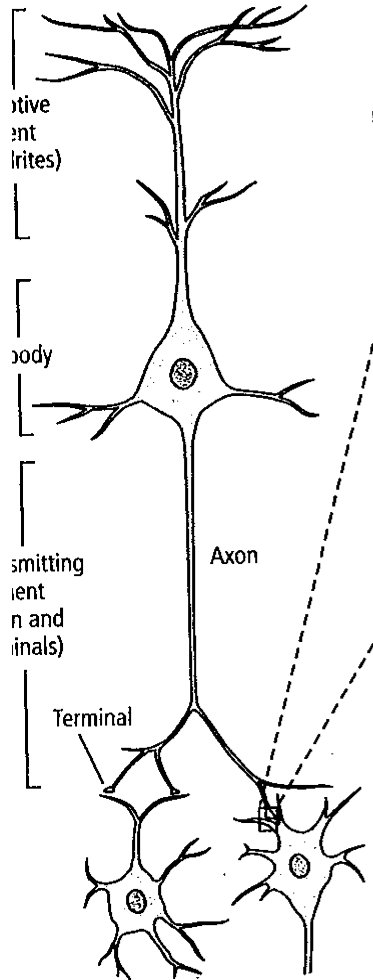
10<sup>11</sup> células  
gliales, soporte  
estructural;  
mielina (tejido  
blanco)

Cortex= inteligencia, lenguaje, matemáticas, arte= conjunto de neuronas conectadas entre ellas=crear, ver, sentir nuestra visión del mundo. Crick “The astonishing hypothesis”



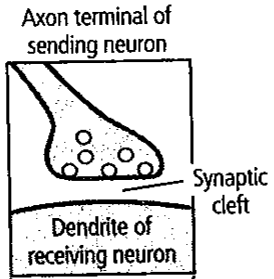
**A. The neuron**

Cajal called the nerve cell a "neuron"—the elementary signaling unit of the nervous system.



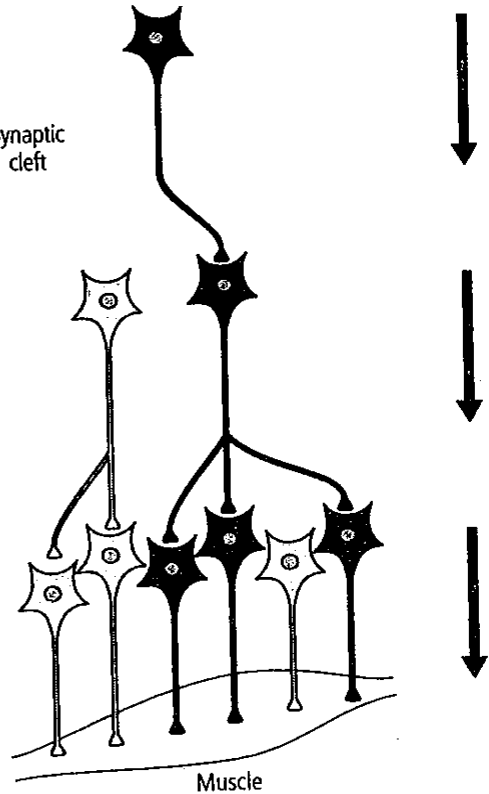
**B. The synapse**

The axon of one neuron communicates with the dendrites of another neuron only at specialized regions—synapses.



**C. Connection specificity**

A given neuron will communicate only with specific cells and not with others.



**D. Dynamic polarization**

Within a neuron, signals travel in only one direction. This principle allows one to determine how information flows in neural circuits.

Cajal 1890

La neurona es la unidad del sistema

Hendidura sináptica. 1955

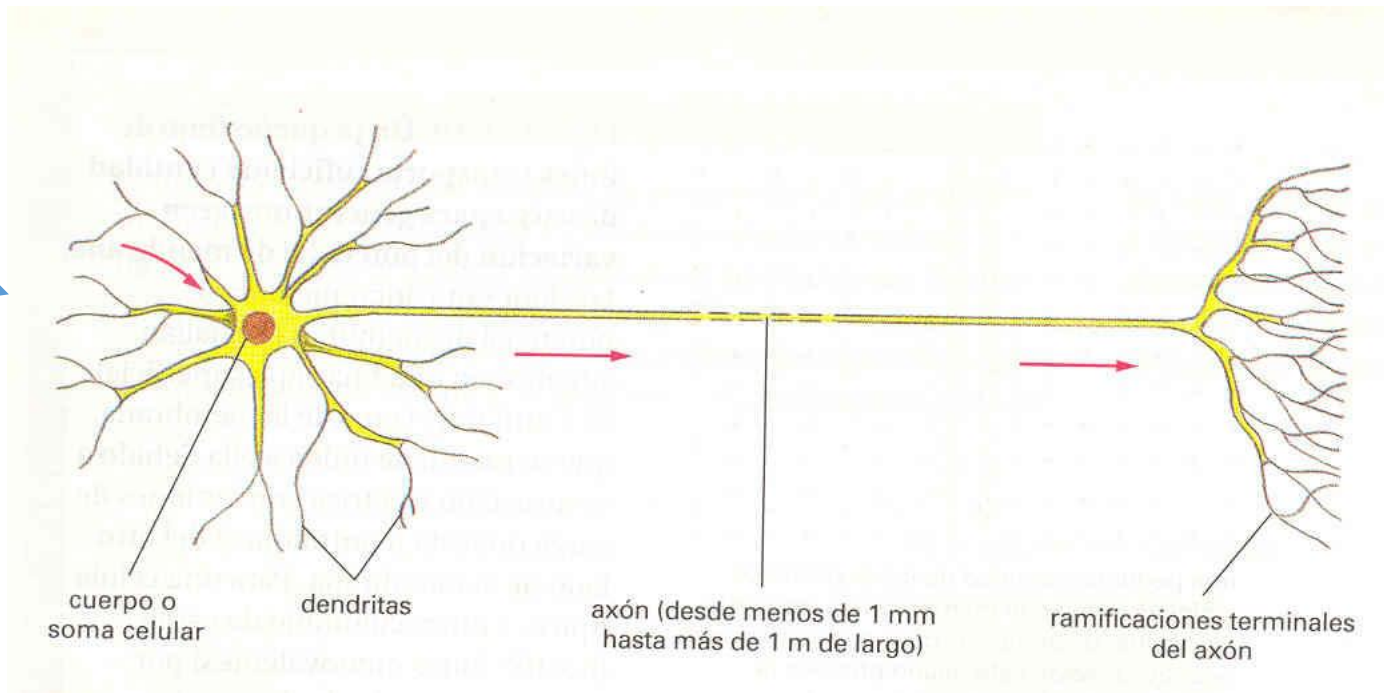
Microscopía electrónica

Las uniones no son al azar, sino que existen circuitos neuronales

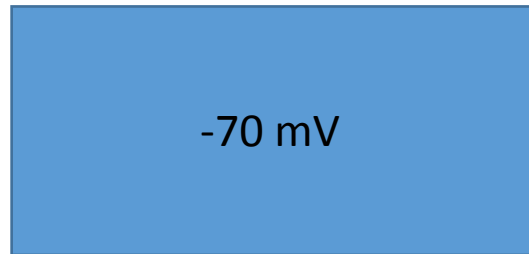
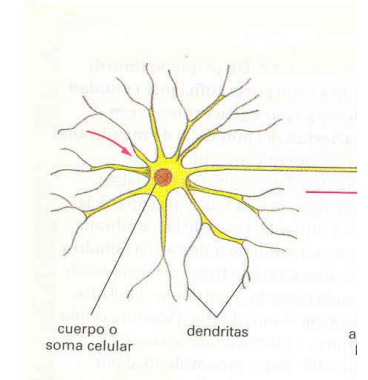
Las señales eléctricas viajan en una dirección.

Cajal's four principles of neural organization.

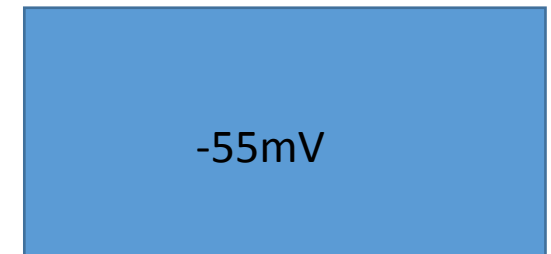
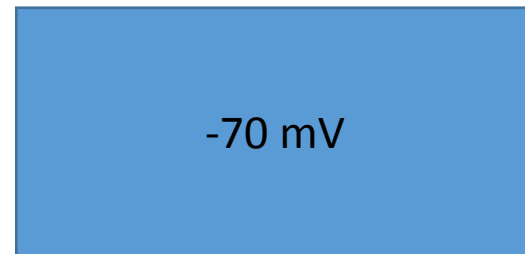
INFORMACION  
Input



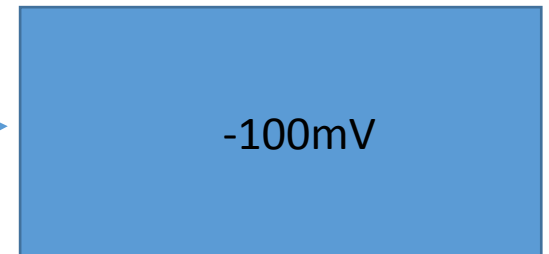
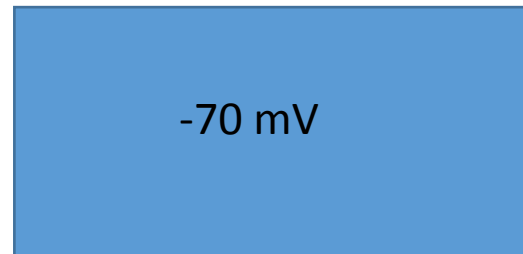
INFORMACION  
Output



++++



-----



++++  
++++  
++++  
++++

++++  
++++  
++++  
++++



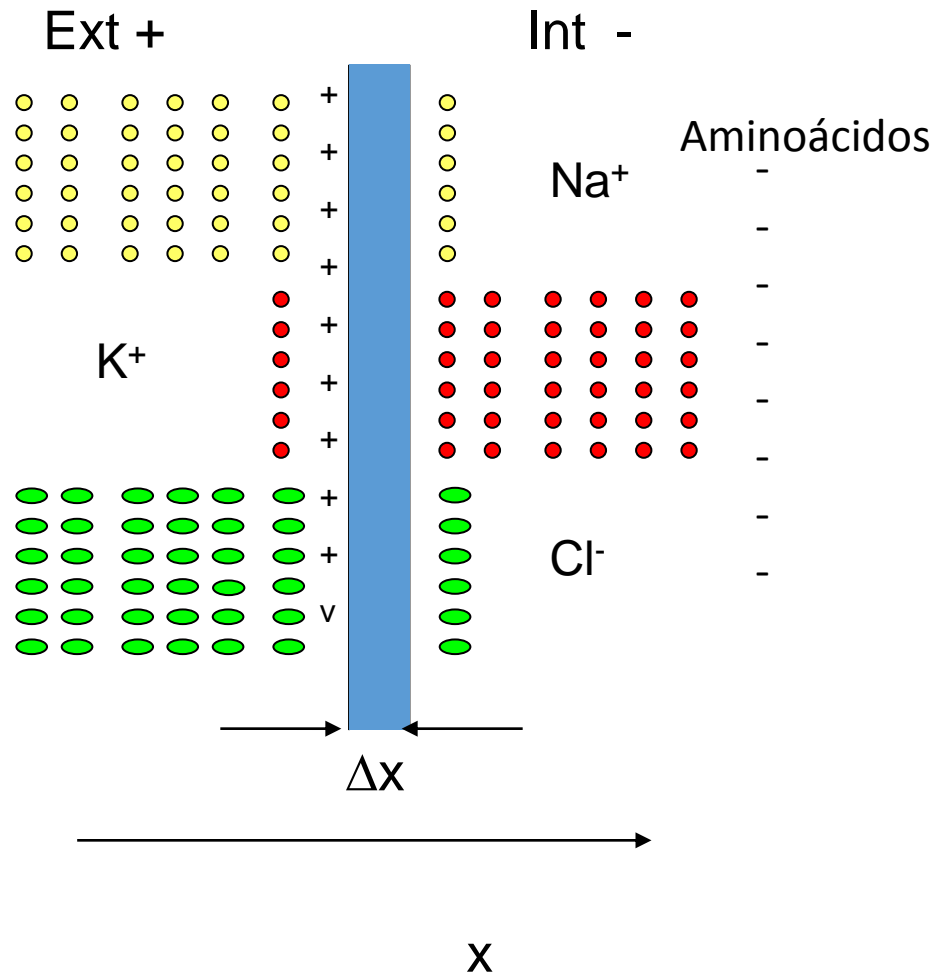
++++  
++++

++++  
++++

++++

++++  
++++  
++++





$$V(\text{inte}) - V(\text{ext}) = -70 \text{ mV}$$

Los canales de K abiertos en reposo

## Carga localizada en la membrana

Neurotransmisores:

Excitadores, abren canales de Na<sup>+</sup>, acetilcolina, glutamato (50%) y serotonina

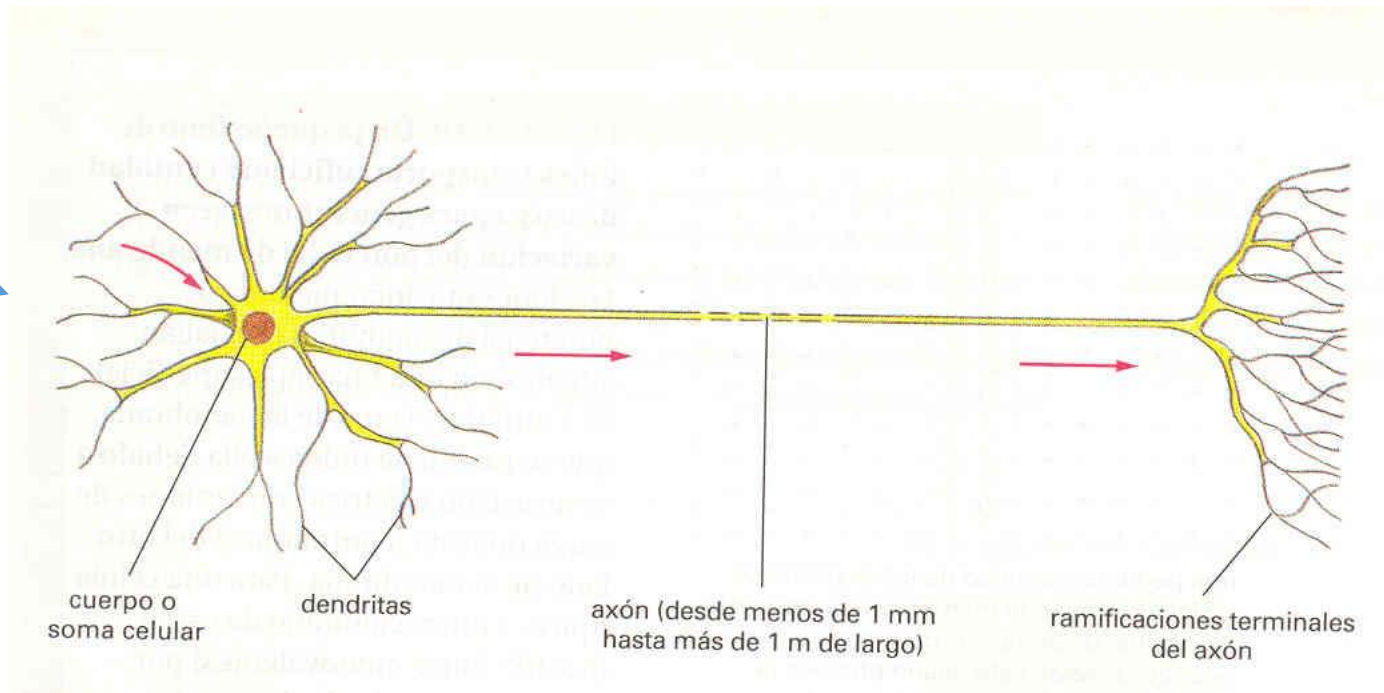
**Voltaje de despolarización**

inhibidores, abren canales Cl<sup>-</sup>, glicina y GABA .

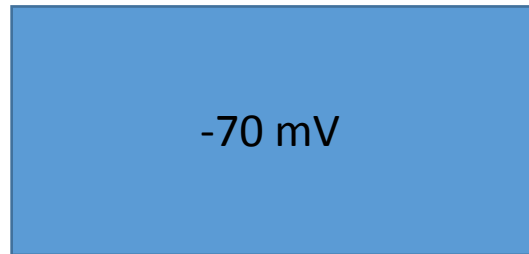
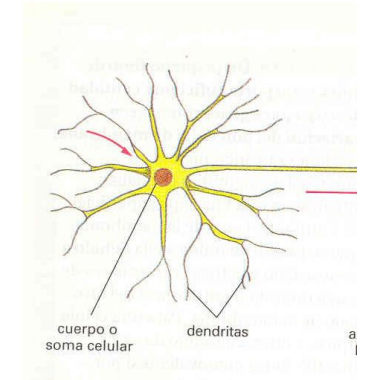
Los canales son proteínas



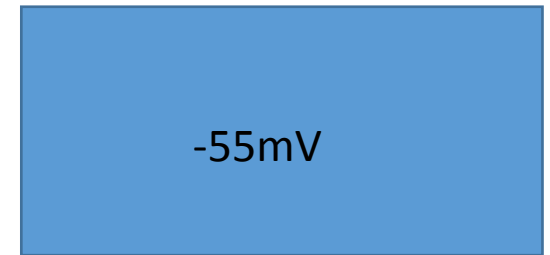
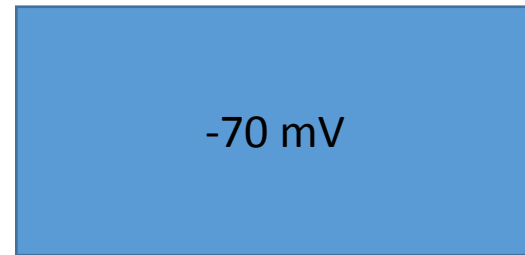
INFORMACION  
Input



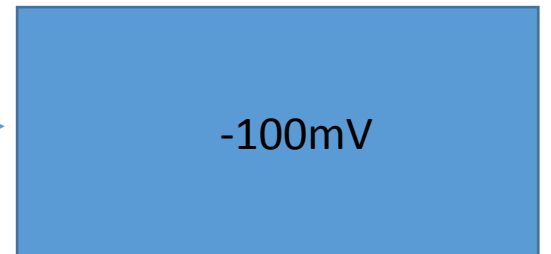
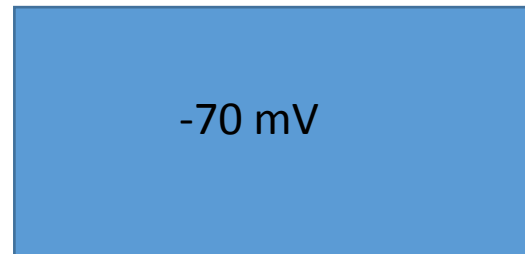
INFORMACION  
Output



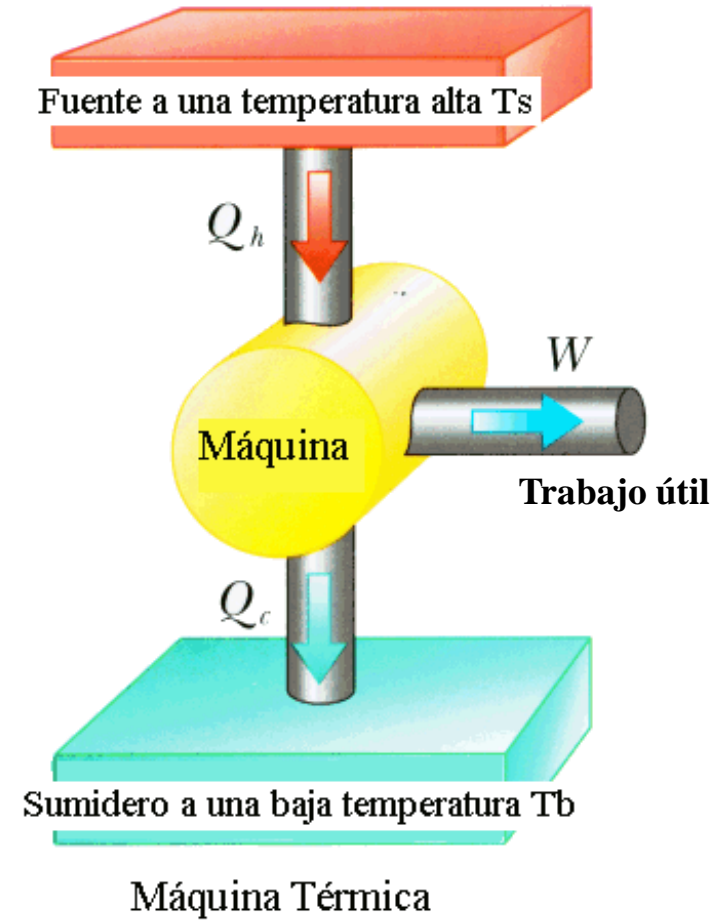
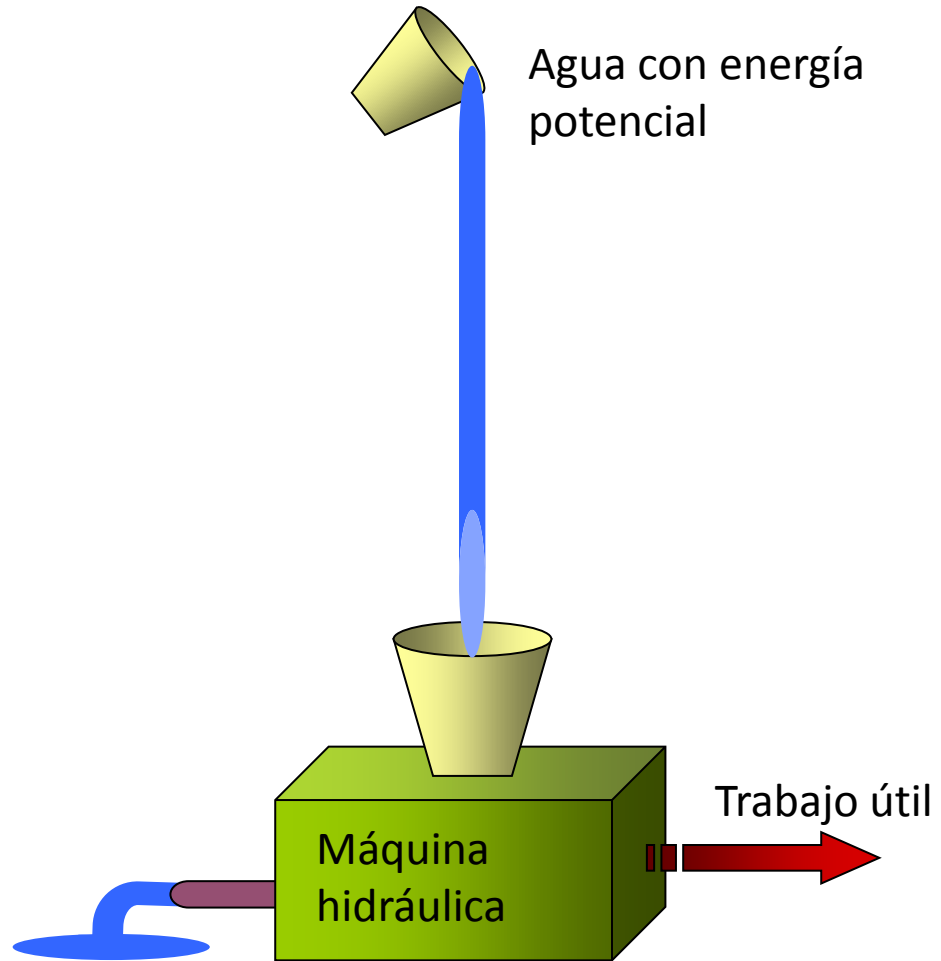
++++



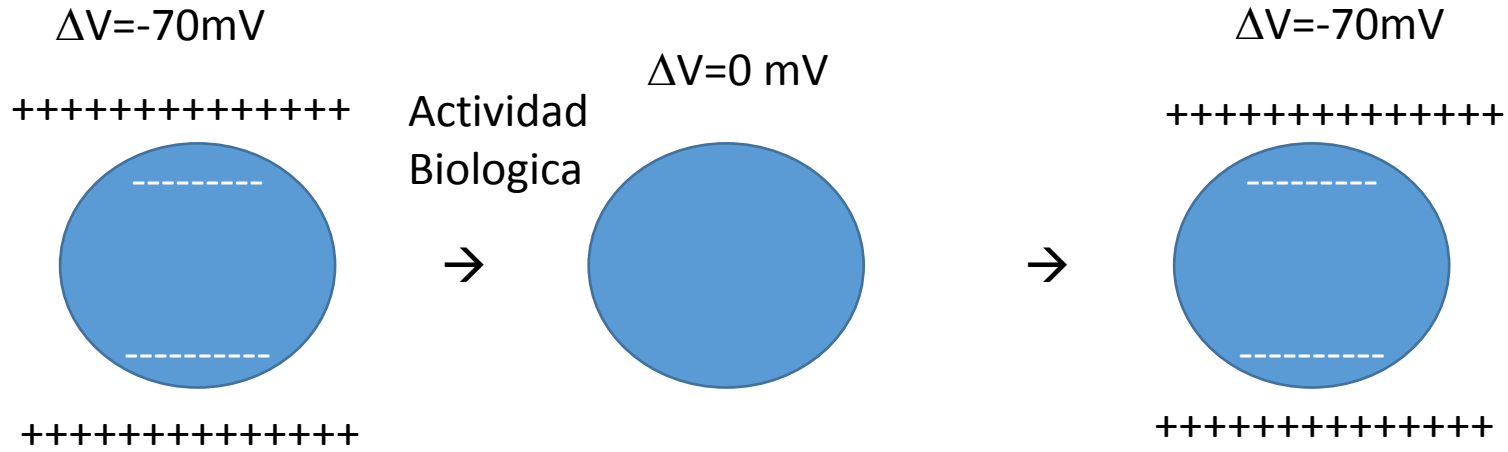
-----



# VIDA. TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA



*El Fuego*



Permeabilidad  
de la  
membrana  
Proteinas transmembrana

## Batería

Proteinas transmembrana  
Motores alimentados por ATP  
2mW/gr

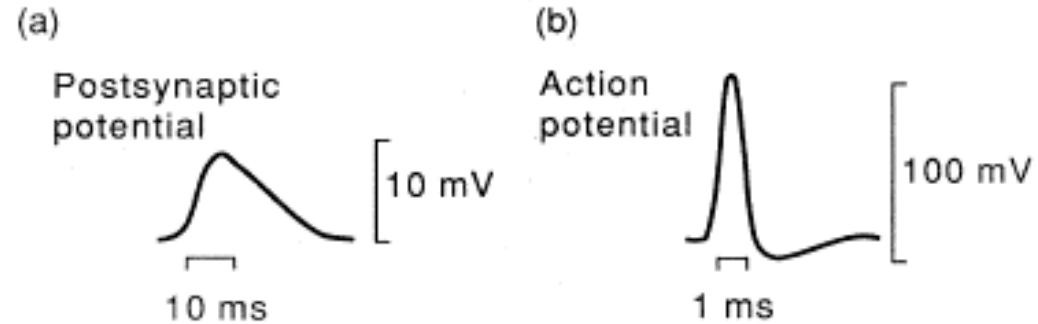
*0.5Kg de glucosa*

*3000kJ/mol 3eV/atom*

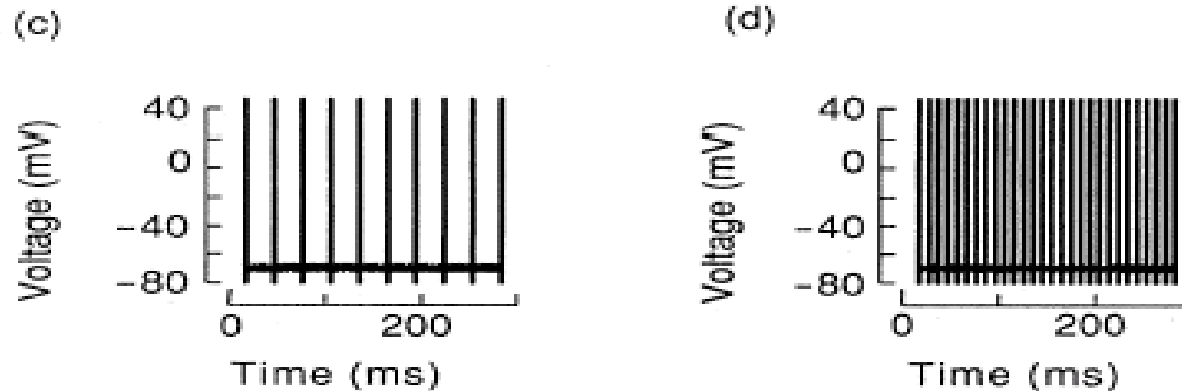
Dos tipos de potenciales

Postsinápticos – dendritas-10 a100 mV, 10 ms

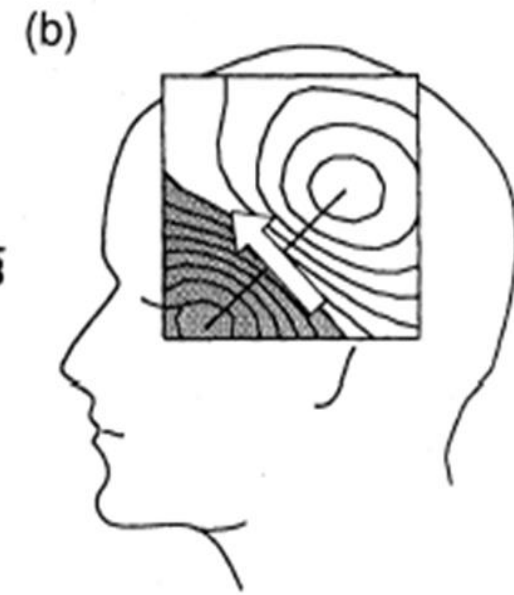
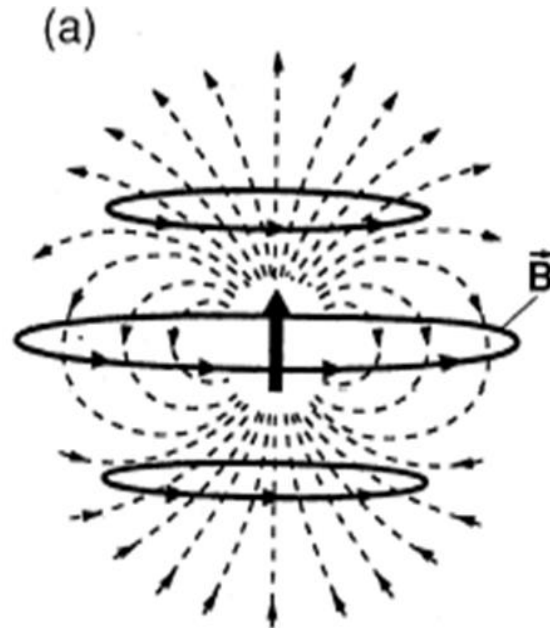
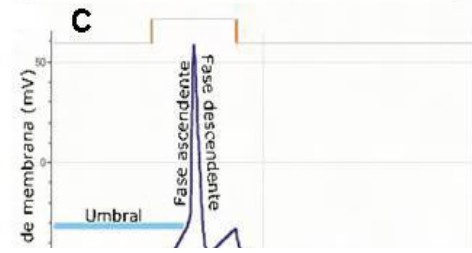
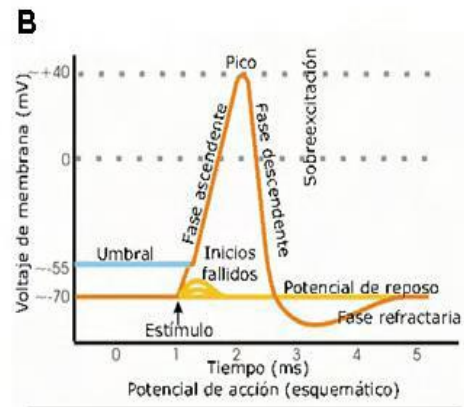
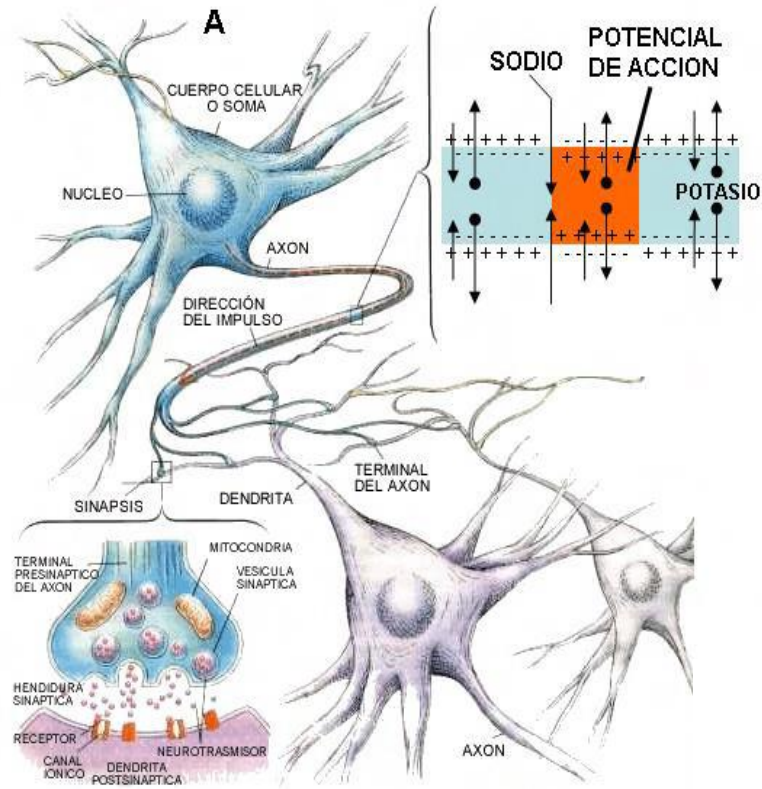
De Acción-axón-100 mV, 1ms.



Canales de sodio excitados por neurotransmisores. Corriente eléctrica postsináptica (PSP). Corriente óhmica de vuelta. Campo magnético producido por la corriente PSP.



Canales de Na<sup>+</sup> excitados por voltaje. Potencial de Acción. Propagación por un axon. Campo magnético producido por la corriente de acción



# FISICA

- I) Observación experimental, por métodos físicos no invasivos de la conectividad efectiva y funcional y de las Oscilaciones colectivas neuronales y sus combinaciones-
- II) Manipulación de la actividad mediante campos aplicados

Actividad genera:

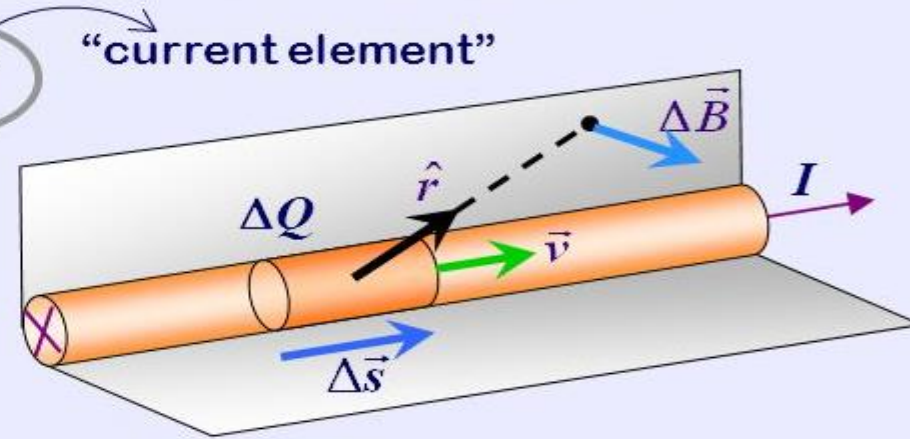
- a) Corrientes eléctricas y voltajes
- b) Modificaciones bioquímicas locales, neurotransmisores y aportación energética localizada

- a) Electro y magneto – encefalografías**
- b) Resonancia magnética funcional(2T)**
- c) Estimulación transcraneal magnética (0.5T)**

$$(\Delta Q)\vec{v} = \Delta Q \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \Delta \vec{s} = I \Delta \vec{s}$$

Hence for a short segment of current-carrying wire:

$$\Delta \vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \Delta \vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$



➤  **$I\Delta s$ -20fAm**, para una simple unión,  $\Delta s$ -0.1 ó 0.2 mm,  $H$   $-1/r^2$

➤ Campos magnéticos medidos 50-500 fT =  $10^{-14}$  o  $10^{-15}$  T que equivale a  **$10^{-9}$  o  $10^{-8}$  campo terrestre =  $4 \cdot 10^{-5}$  T.**

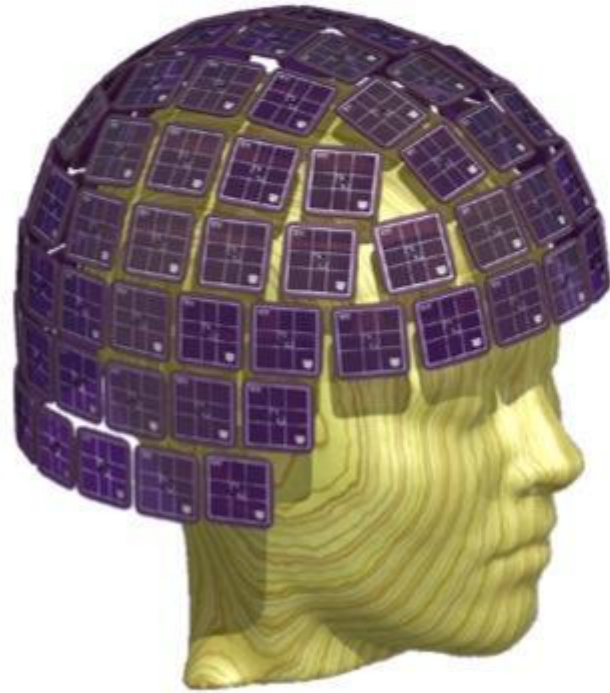
Dipolo requerido  **$10\text{nAm} = 10^6$  corrientes**

**sinápticas activas** simultáneamente lo que equivale al uno por mil de las existentes en un milímetro cuadrado. Las densidades medidas son del orden de  **$100\text{-}250 \text{ nA/mm}^2$**  ( $4\text{mm}^2$ )

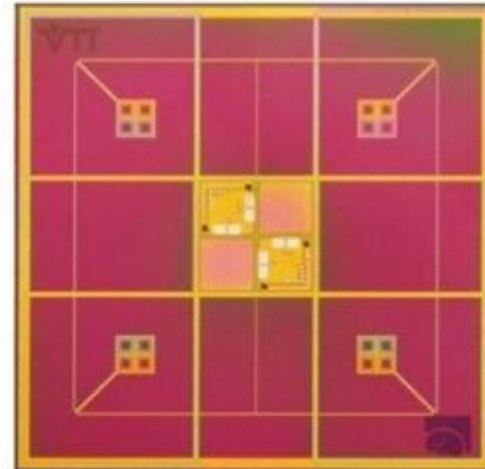


# SQUID Sensors

---

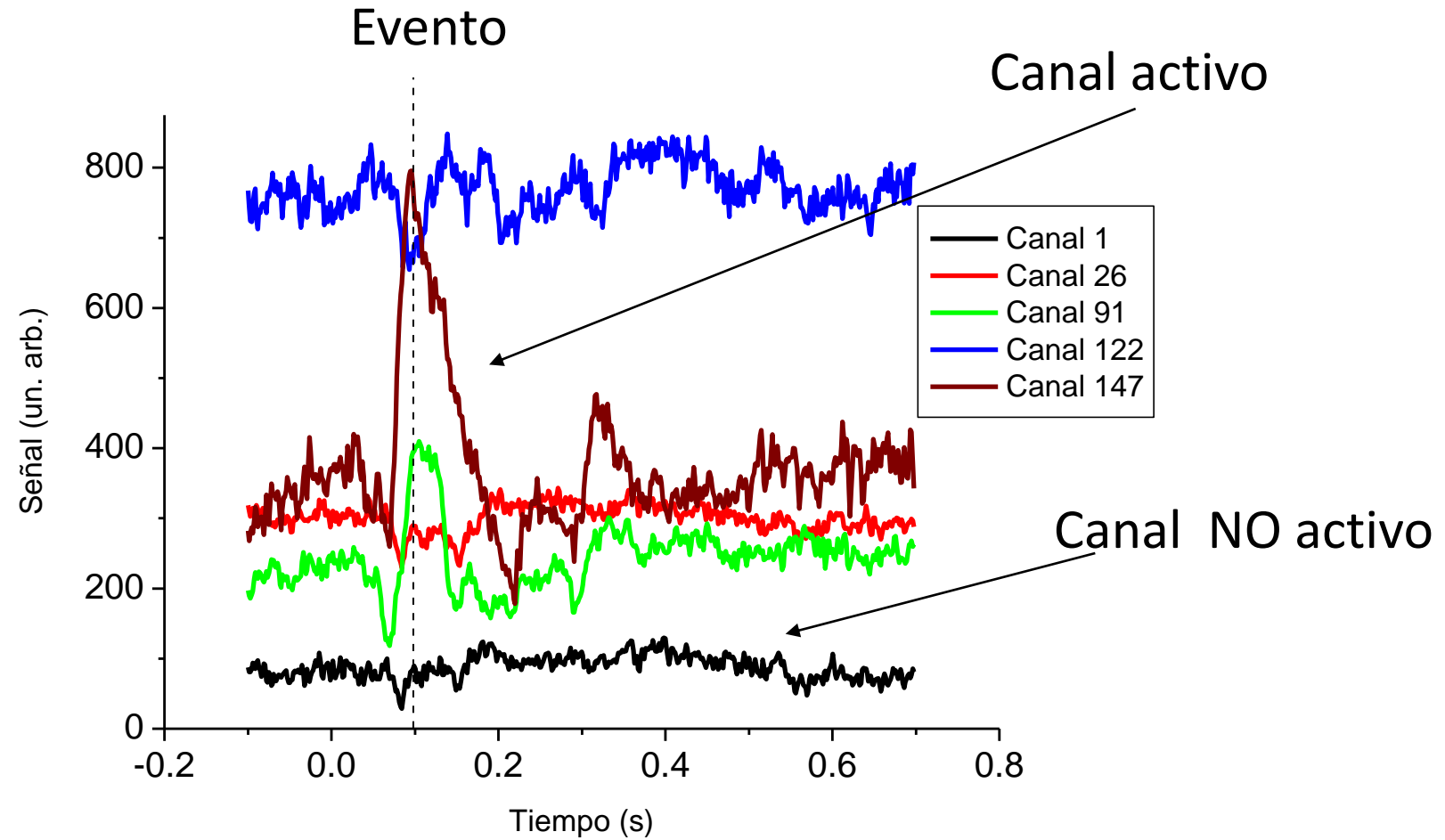


- 306 independent measurement channels.
- Organized in channel-triplets on 102 silicon chips:
  - Two planar gradiometers
  - One radial magnetometer





Con las medias se pueden identificar canales “activos” durante un evento



Estamos sometidos a campos intrínsecos a nuestra naturaleza y a la naturaleza en que vivimos, somos electrones, átomos y moléculas.

Progresivamente aumenta la densidad de energía de los campos electromagnéticos que nos rodean debido a la tecnología

Como afectan estos campos a nuestra salud?

# Fuentes comunes de **Radiaciones No Ionizantes**

**Naturales:**

- CM terrestre
- Radiación solar
- Luz visible
- Calor y fuego

**Artificiales**

# Fuentes comunes de Radiaciones No Ionizantes



- Transporte de energía y comunicaciones

- Almacenamiento { Energía - Imanes  
Información - Memorias

# Transporte de energía

***Llegan  $1.5 \cdot 10^{17} \text{w}$  Cien Mil Terawatios***

**Eólica, solar**

***Fotosíntesis  $10^{14} \text{w}$ : Cien Terawatios***

**Combustibles**

**Ley de Faraday**

***Civilización  $10^{13} \text{w}$ : Diez Terawatios***

***Mantener la vida de la humanidad***

***$10^{12} \text{w}$ : Un Terawatio***

# Como afectan estos campos a nuestra salud

## Visión desde la Ciencia: No lo sabemos con certeza

Existe interacción CEM-materia viva

No dogmas

Si : observación rigurosa

CEM: conocidos

Biología. Menos conocida (Por esto no lo sabemos con certeza) Aproximaciones, cotas...

Escenario de partida basado en el conocimiento

Resto observación. Intensidad de seguridad en función de la frecuencia

# EVOLUCION

$E=100 \text{ V/m}$

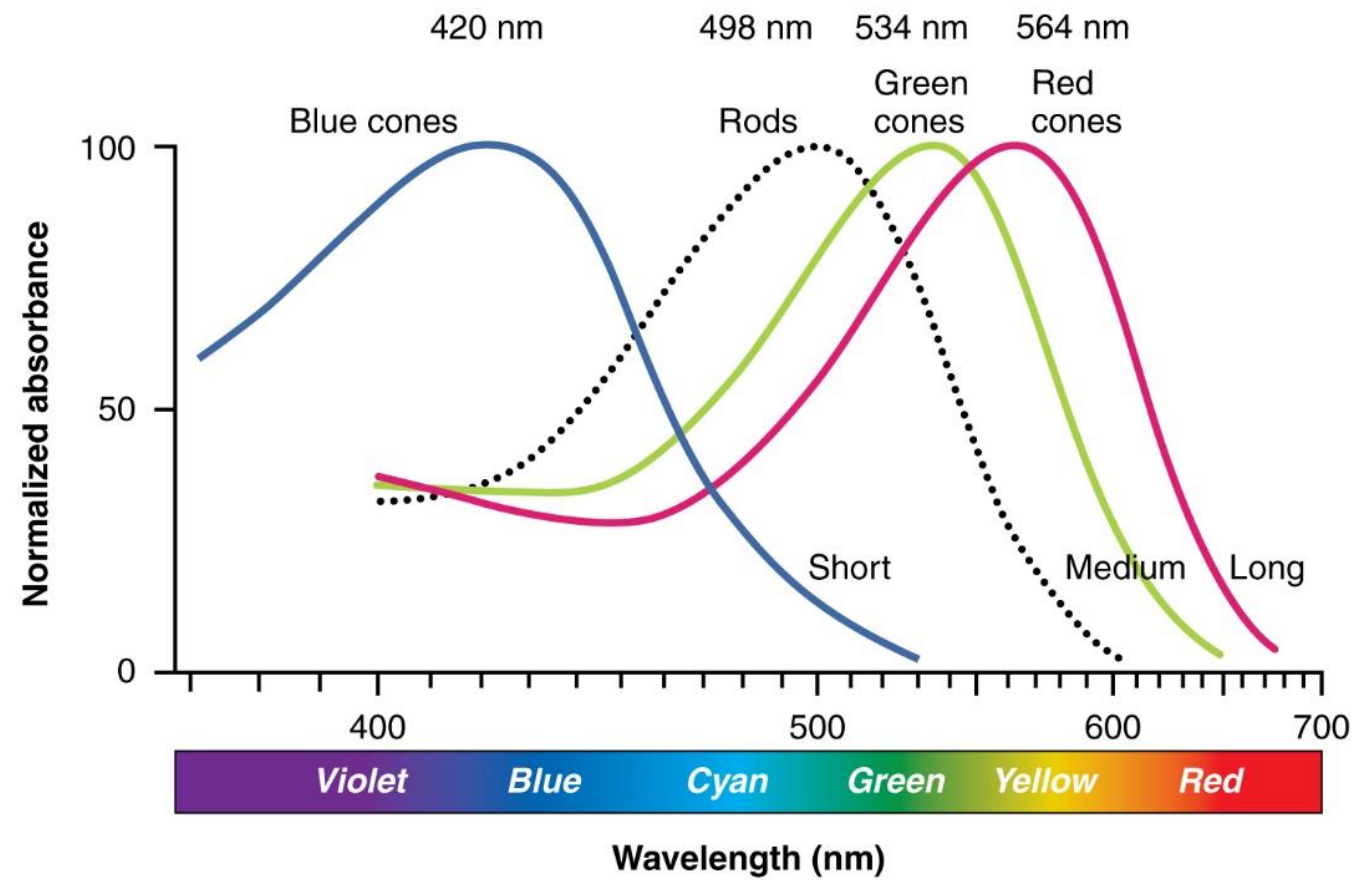
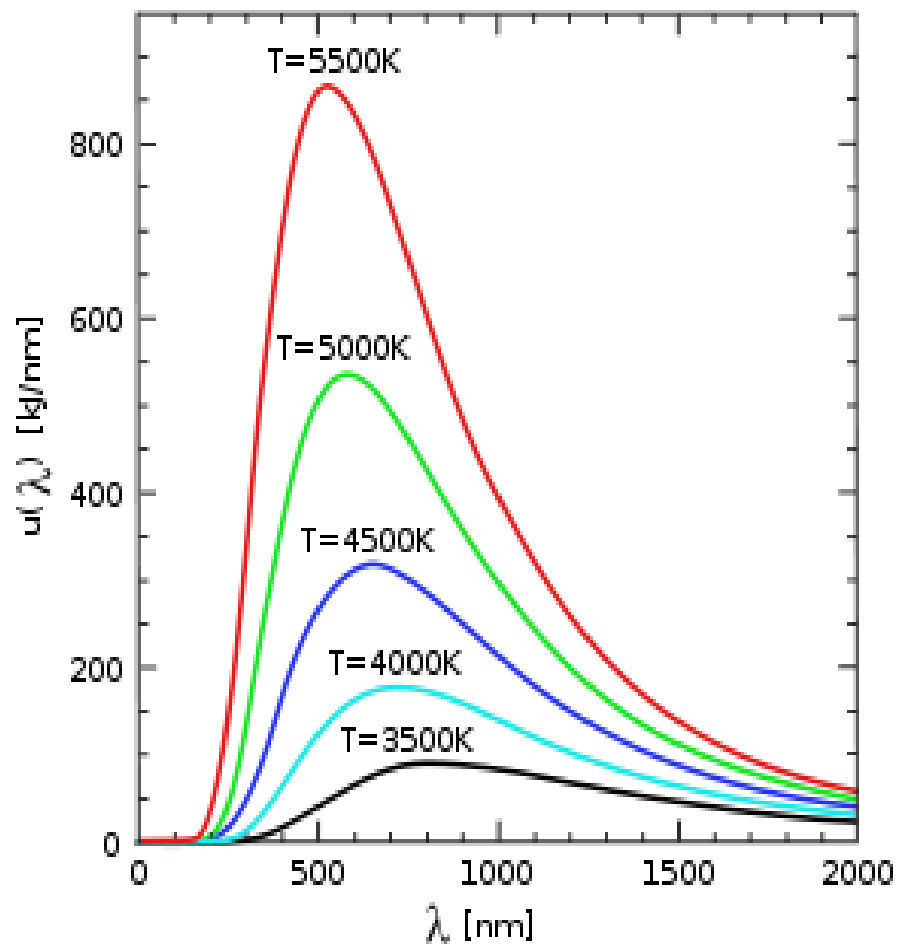
$H= 0.5 \text{ gauss}$

$Luz=250 \text{ w/m cuadrado}$

Radiación cósmica

Radioactividad ambiente





DC

Corriente eléctrica

Calentamiento  $E=Mc\Delta T$ . ( $c= 42000\text{J/kg.K}$ )

AC

*SAR (Specific Absorption Rate)*

Tasa de absorción específica

Vatios/kg de peso corporal **w/kg**

Por qué hay que seguir investigando?  
La ciencia no es dogmática. La Biología es  
sutil

Efectos de segundo orden en Física pudieran ser relevantes en  
Biología. Canales de membrana, desoxihemoglobina, radicales libres.

No se conocen efectos graves en pruebas de Resonancia Magnética  
nuclear con campos de 6T

Profundizar en efectos sutiles puede ser de gran  
interés terapéutico

1984 - La ICNIRP publica sus primeras recomendaciones para la protección frente a la radiación no ionizante

Periódicamente los expertos se reúnen y revisan los trabajos científicos nuevos sobre los efectos biológicos de la radiación no ionizante

Se revisan las recomendaciones y se establecen nuevos límites: 1987, 1991, 1993, **1998**

**A día de hoy**

Muchas gracias por su atención

# Funcionamiento del cerebro.

Velocidad del procesador 1-10 ms<sup>-1</sup> es muy baja respecto a los procesadores de hoy 10<sup>6</sup> ms<sup>-1</sup>. ¿Cómo devolver un smash? (en 300 ms actúan 10<sup>10</sup> neuronas y solo podrían 3 10<sup>3</sup>).

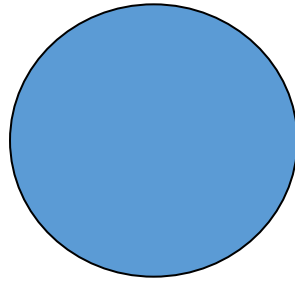
Una simple neurona es irrelevante. Existen 10<sup>14</sup> uniones: la conectividad es relevante. La comunicación depende de ,las uniones post-sinápticas y del proceso de transmitir la información.

Otro español Rafael Yuste coordinador del programa BRAIN en USA

# Evolución

- Hace 6 millones de años nos separamos del chimpancé. Explosión de volumen cerebral.
- Cómo encontrar el gen que mutado genera el aumento de volumen cerebral?. ( $3 \cdot 10^9$  letras en el genoma humano).
- Australopiteco 500 cc
- Homo Erectus 1000 cc
- Homo Sapiens 1500 cc.
- Se buscan genes cuyas mutaciones producen microcefalia. Gen ASPM
- Leído por Lahn en 2004 en chimpancés, etc. Si las mutaciones con cambio en aminoácidos son mas frecuentes que las silenciosas indicio de selección.

Control del voltaje de membrana  
mediante los cambios de  
permeabilidad sin modificación  
significativa de concentraciones



—10 μ—

La carga de membrana está distribuida en un espesor de 1nm.

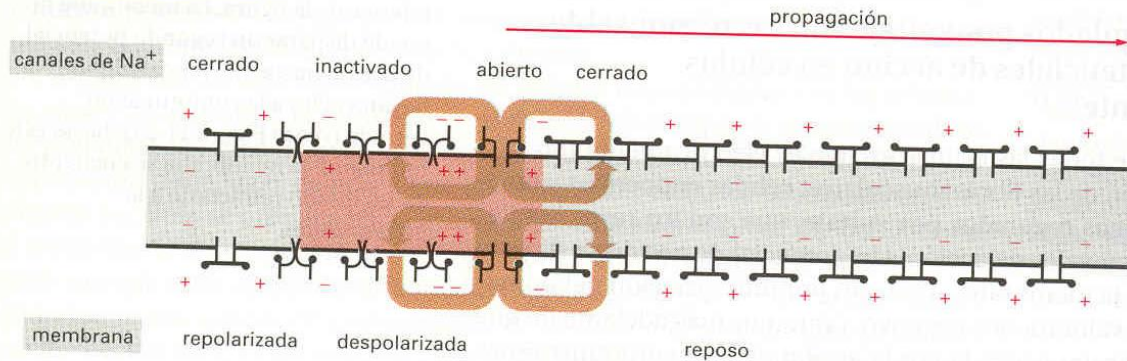
**Nótese que  $1\mu\text{C}/\text{cm}^2 = 10^{-2}\text{C}/\text{m}^2$  genera  
 $E = \sigma/\epsilon_0 = 10^{10}\text{V}/\text{m}$**

lo que implica que la diferencia de potencial en un par de nanómetros de espesor ( potencial de membrana) es de **5 V**.

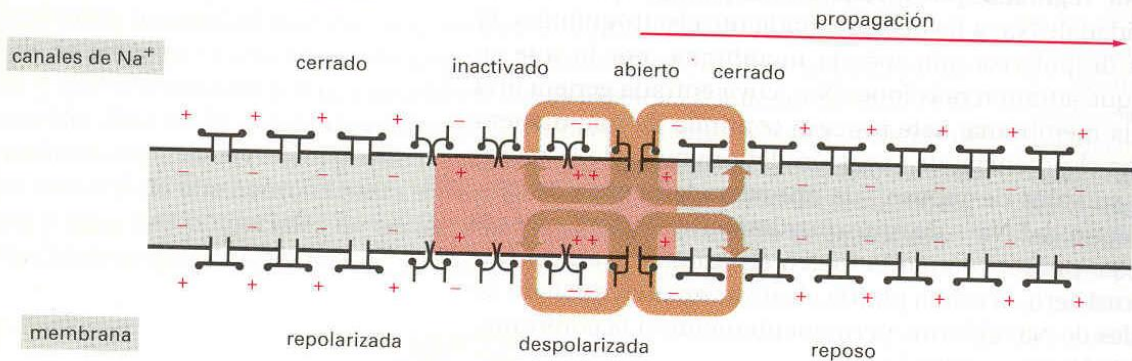
**$1\mu\text{C}$  equivale a  $6 \times 10^{12}$  iones monovalentes. Dentro de la célula hay  $10^{17}$  iones  $\text{k}^+$  por lo que bastan  $1/10^5$  iones  $\text{k}^+$  c puede considerarse constante**



vista instantánea a  $t = 0$



vista instantánea a  $t = 1$  milisegundo



1939 Allan Hodgkin y Andrew Huxley

Canales de voltaje de Na se abren a  $-55\text{mV}$ , canales de voltaje de K que descargan el interior.

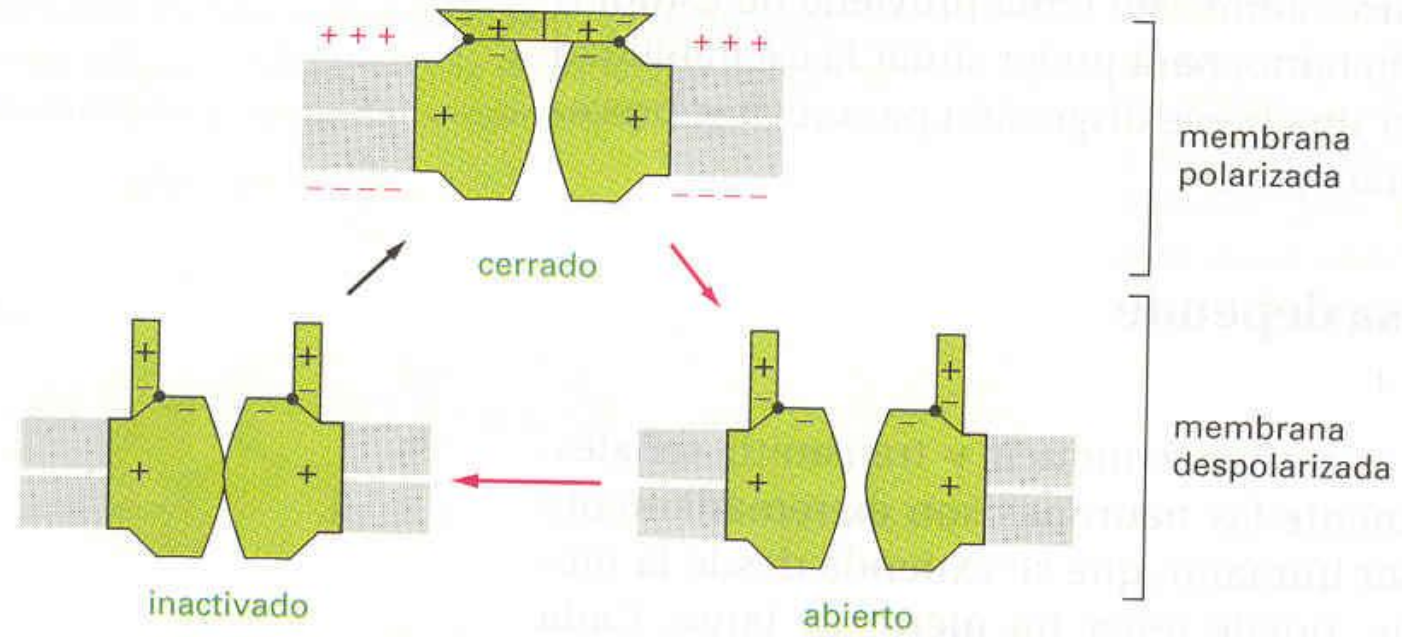
$-70$  a  $+40\text{mV}$ . Total  $110\text{ mV}$

Al llegar al extremo descarga neurotransmisores.

Una proteína transporta Na fuera y K hacia dentro y se reestablece el equilibrio

Premio Nobel a los descubridores 1963

En 2003 Mackinnon Nobel por distinguir las posiciones 3-d de los átomos en los canales de K, los abiertos y los de voltaje.



## Gradiente de concentraciones iónicas

Flujo= permeabilidad x diferencia de concentración

**Tabla 11-1** Comparación de las concentraciones iónicas en el interior y el exterior de una célula de mamífero

Componente	Concentración intracelular (mM)	Concentración extracelular (mM)
Cationes		
Na <sup>+</sup>	5-15	145
K <sup>+</sup>	140	5
Mg <sup>2+</sup>	0,5	1-2
Ca <sup>2+</sup>	10 <sup>-4</sup>	1-2
H <sup>+</sup>	7 × 10 <sup>-5</sup> (10 <sup>-7,2</sup> M o pH 7,2)	4 × 10 <sup>-5</sup> (10 <sup>-7,4</sup> M o pH 7,4)
Aniones*		
Cl <sup>-</sup>	5-15	110

\* Puesto que la célula debe tener la misma cantidad de cargas + que - (es decir, ha de ser eléctricamente neutra), además de Cl<sup>-</sup> la célula contiene muchos otros aniones que no se presentan en esta tabla; de hecho, la mayoría de los constituyentes celulares están cargados negativamente (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, proteínas, ácidos nucleicos, metabolitos que contienen grupos fosfato y carboxilo, etc.). Las concentraciones dadas para Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> corresponden a las de los iones libres. En las células, hay un total de aproximadamente 20 mM Mg<sup>2+</sup> y 1-2 mM Ca<sup>2+</sup> pero en su mayor parte ambos cationes están unidos a proteínas y a otras sustancias; en el caso del Ca<sup>2+</sup>, una elevada cantidad se encuentra almacenada en varios orgánulos.

# Neurona: quantum de procesamiento de información

**Motoras**  
**Sensoras**  
**Interneuronas**

**Excitación**  
**Inhibición**

**Inhibición-Interneurona**

Coordina estímulos  
Estabiliza la respuesta  
Selecciona entre reflejos  
competitivos

Charles Sherrington en la  
médula del gato

