

**Núcleo de Ingeniería Biomédica
FING - FMED**



Repaso de conceptos físicos y químicos



Curso:

IMÁGENES MÉDICAS: ADQUISICIÓN, INSTRUMENTACIÓN Y GESTIÓN



M.Sc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

10 de Marzo de 2016

diego.suarez07@gmail.com

Objetivo

Repasar algunos conceptos de física y química que pueden ser útiles para facilitar el estudio de las bases físicas particulares de cada uno de los métodos de obtención de imágenes médicas que se presentarán en los próximos módulos del curso *Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión*.

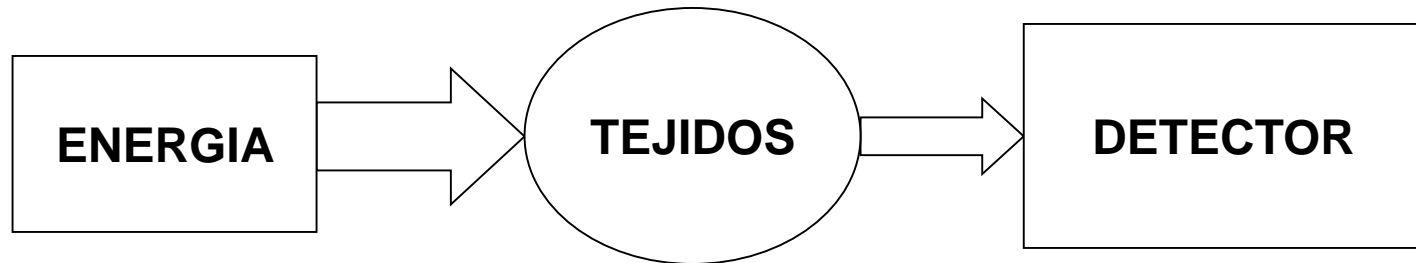
Contenido

- Introducción.
- Repaso de magnitudes físicas. Unidades y dimensiones físicas.
- Repaso de mecánica clásica de partículas en un campo externo: cinemática y dinámica. Fuerza y cantidad de movimiento. Torque y momento angular. Trabajo. Energía cinética y potencial. Conservación de la masa y la energía. Mención de correcciones relativistas en el caso de los electrones.
- Repaso de electricidad y magnetismo: cargas eléctricas, corrientes y campos. Conservación de la carga. Campos eléctricos y magnéticos estáticos. Dipolos eléctricos y magnéticos. Fuerzas, trabajo y energía. Campos y ondas electromagnéticas.
- Repaso sobre estructura atómica de la materia y nociones de física cuántica. Tabla periódica. Moléculas. Enlace químico. Reacciones químicas.
- Materia condensada. Ondas acústicas. Tipos de acústica (longitudinal, transversal y de superficie). Velocidad de propagación de ondas acústicas. Transmisión, reflexión, refracción, absorción. Impedancia. Atenuación. Efecto Doppler.

Introducción

Obtención de imágenes

La obtención de Imágenes del organismo, en sus distintas modalidades, surge a partir de la información contenida en algún tipo de energía que ha sido “modulada” al interactuar con los tejidos.



Cada método permite obtener diferente información al involucrar diferentes propiedades de la materia

Tipo de información que se puede obtener:

Anatómica

Funcional

Anatómica + funcional

Tipos de Imágenes según dimensiones espaciales y temporal involucradas

- 2 dimensiones espaciales

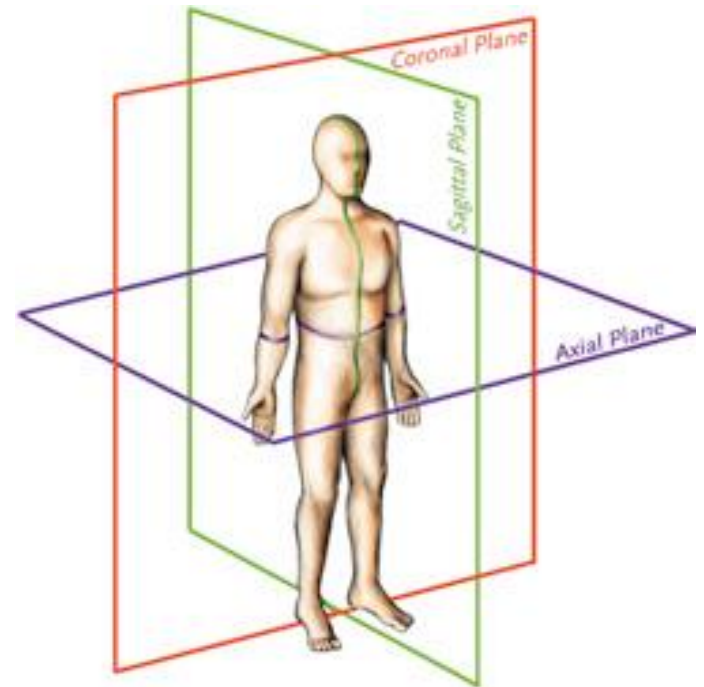
Planas por proyección

Planas por corte (Slice)

- 3 dimensiones espaciales
- 2 dimensiones + tiempo (dinámicas)
- 3 dimensiones + tiempo (dinámicas)

Cortes principales

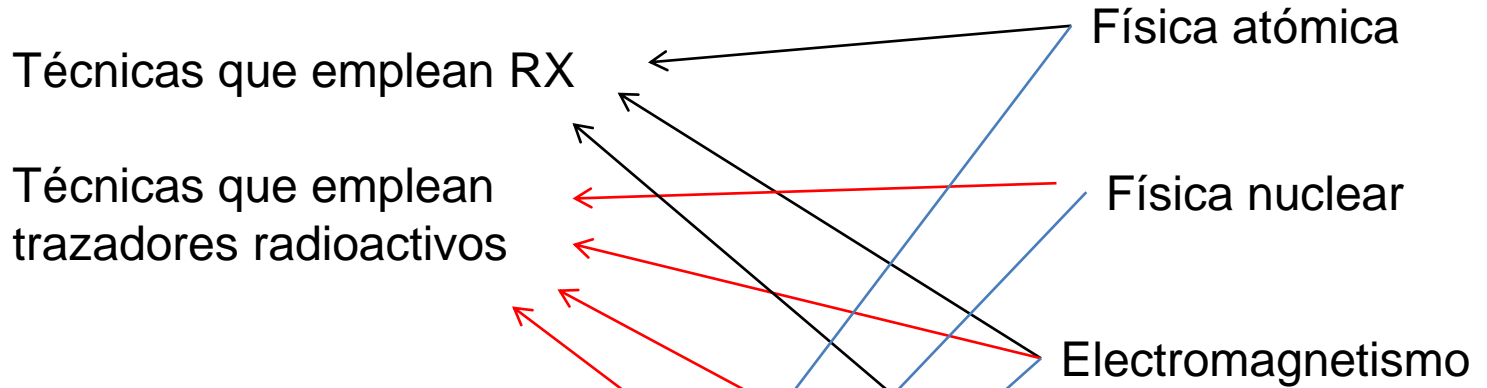
- Axial (trans axial o transverso)
- Coronal (o frontal)
- Sagital



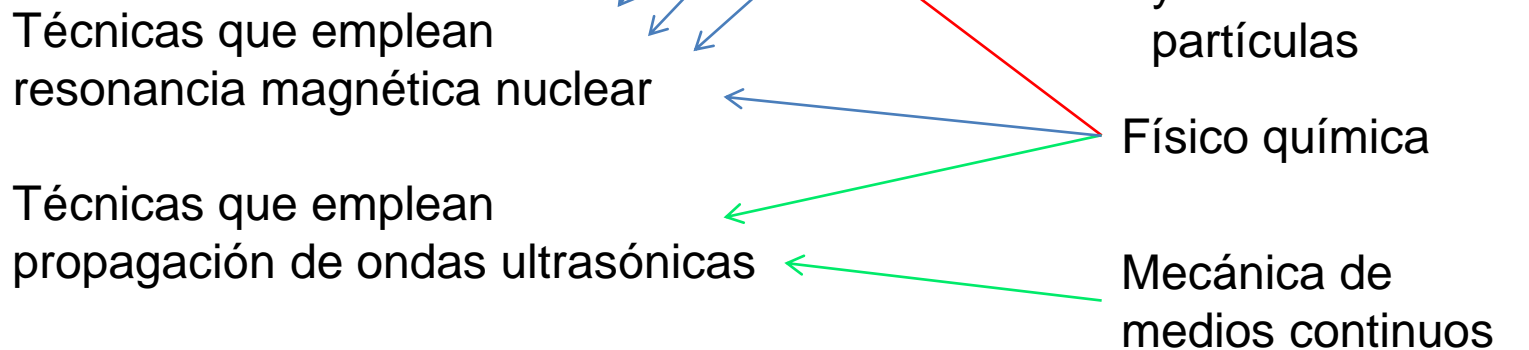
Áreas de Imagenología

Áreas de la Física y la Química relacionadas

Basadas en Radiaciones Ionizantes :

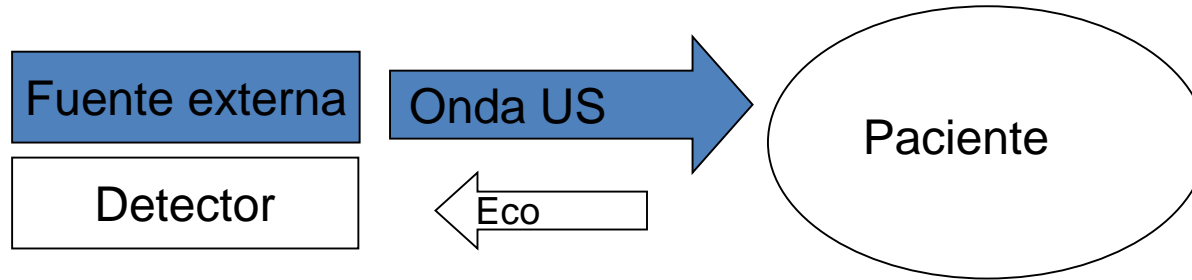


Basadas en Radiaciones No Ionizantes:



Estudios de Reflexión

Ultrasonido



Características principales:

Propagación de ondas mecánicas en la materia

Se reflejan en las distintas interfases (estructuras)

Se reciben los ecos

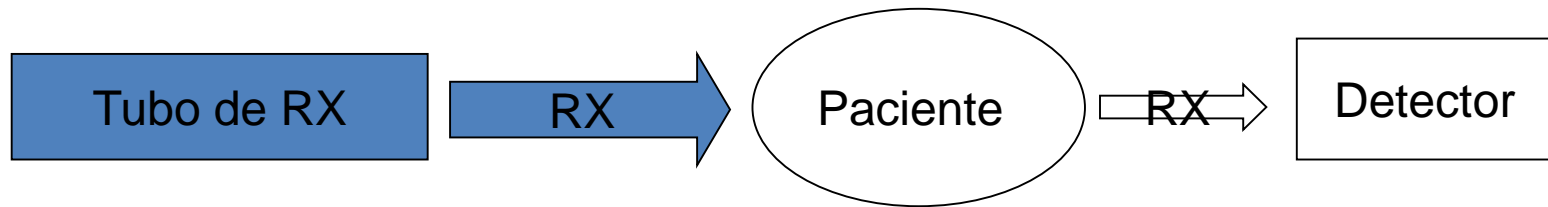
Fenómenos de atenuación por dispersión y absorción

Corrimientos de frecuencias (movimiento / respuesta no lineal)





Estudios de Transmisión

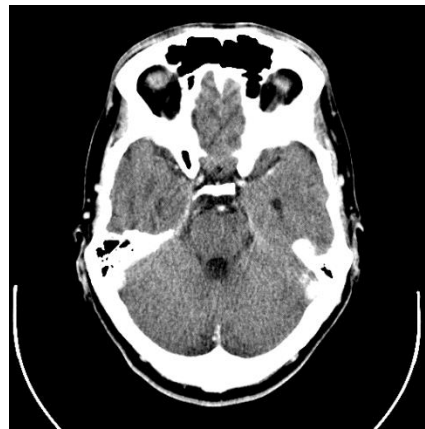


Los tejidos atenúan los Rayos X (absorción y dispersión)



Rayos X de proyección

Tomografía computada



Fluoroscopia - Angiógrafo

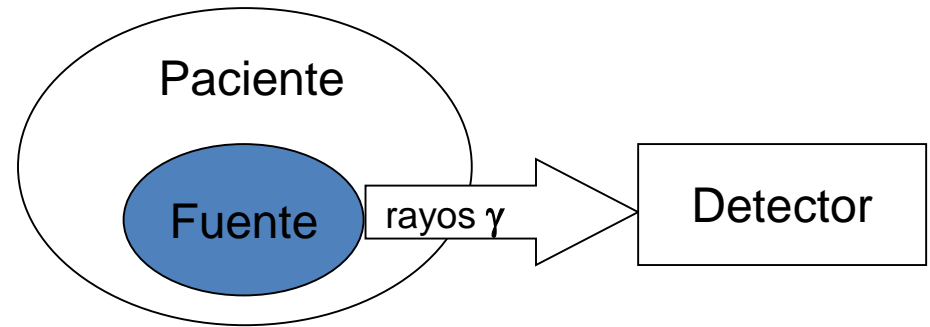


Arteria femoral obstruída

Estudios de Emisión

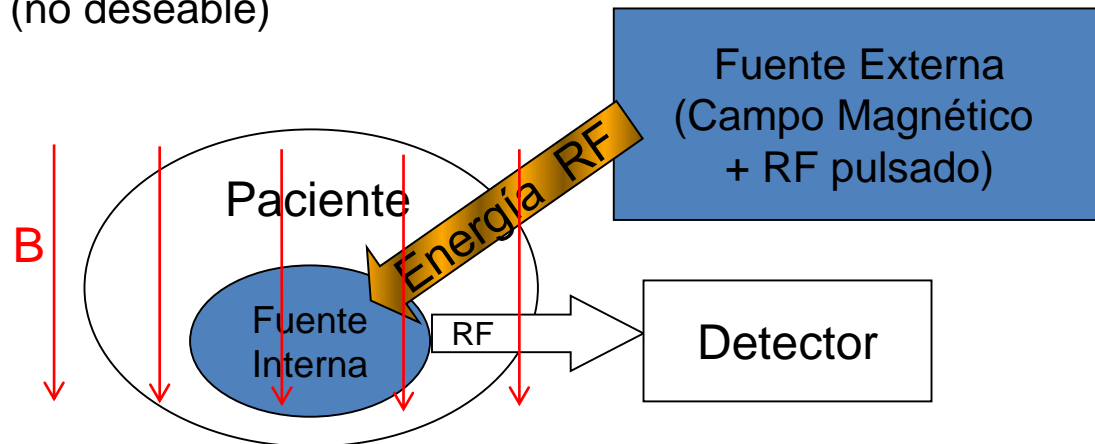
Técnicas de Medicina Nuclear:

- Sustancias marcadas con trazadores
- Concentración local de trazadores depende de la actividad fisiológica (a nivel molecular, procesos bioquímicos).
- Efectos de atenuación por los tejidos (no deseable)

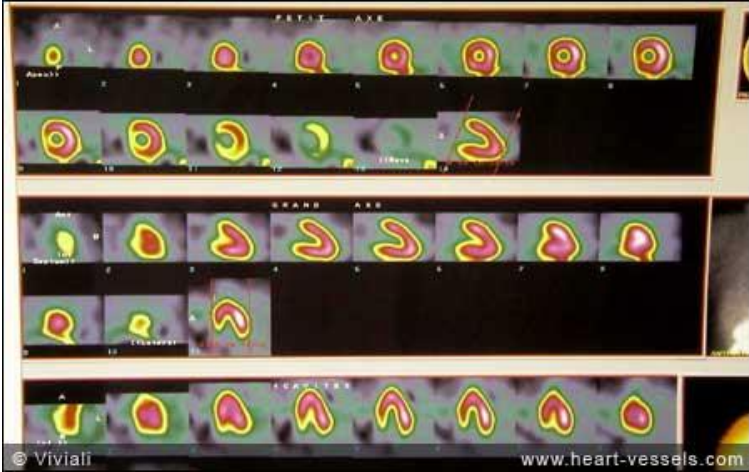


Resonancia Magnética:

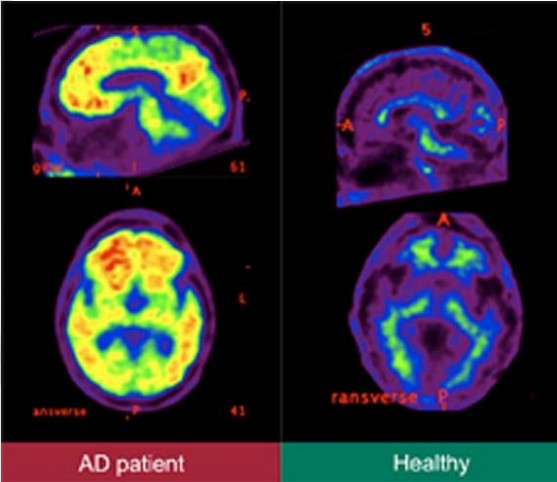
- Depende de la concentración de spines que interactúan con el campo externo (en general átomos de H).
- Se basa en los efectos que tiene un campo magnético externo y un campo de RF sobre el comportamiento de los momentos magnéticos nucleares.



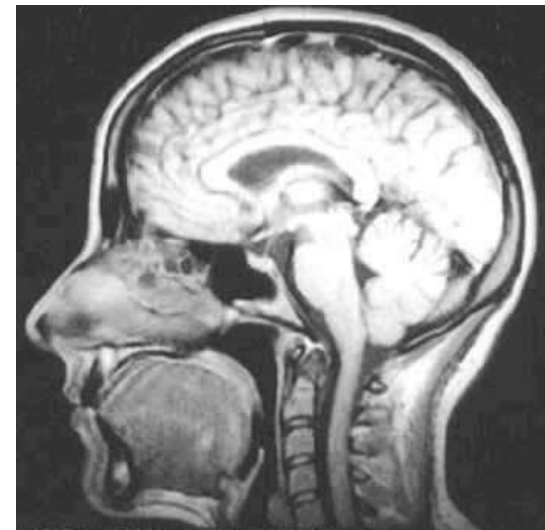
SPECT



PET



Resonancia Magnética



Magnitudes, Unidades y Dimensiones

Magnitudes físicas

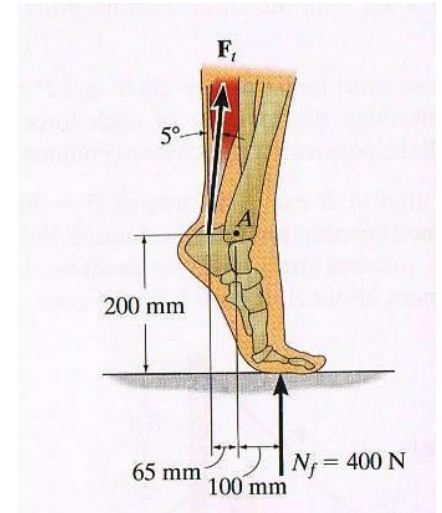
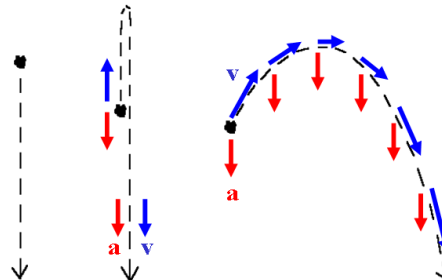
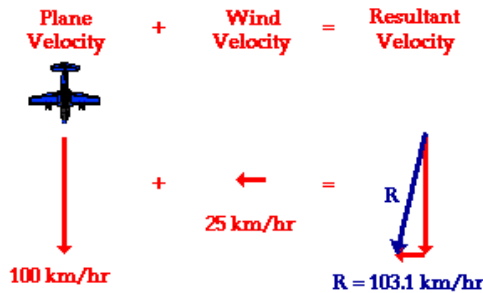
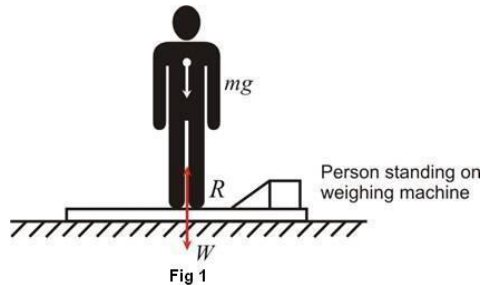
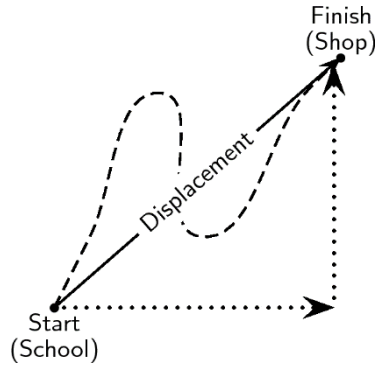
Magnitudes escalares:

Ejemplos: temperatura, concentración, densidad, masa, presión.

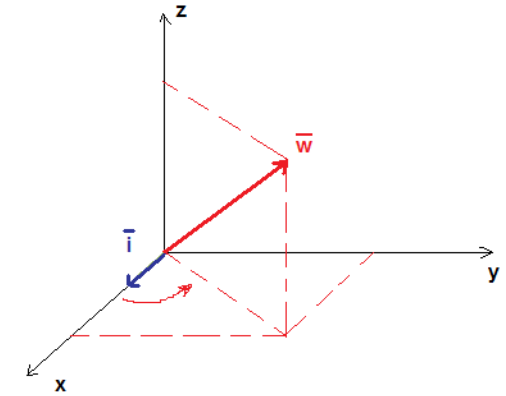
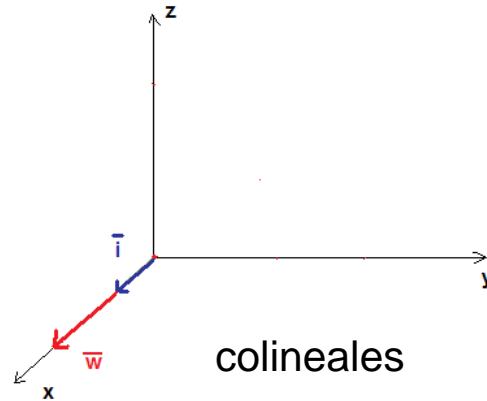
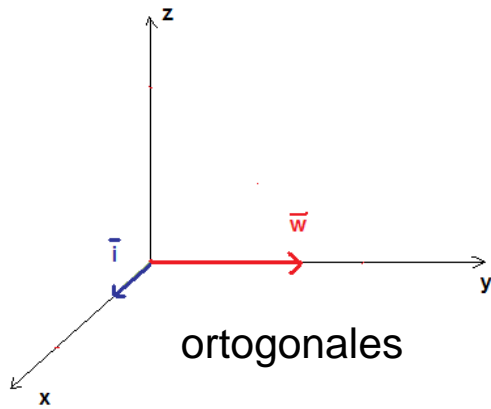


Magnitudes vectoriales:

Ejemplos: desplazamiento, velocidad, aceleración, fuerza, peso.

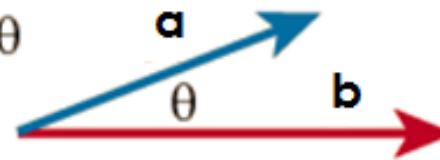


Repaso de producto escalar y vectorial



- Producto escalar

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = |\mathbf{a}| |\mathbf{b}| \cos \theta$$

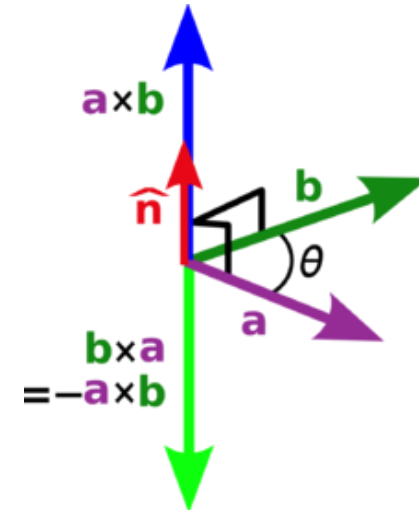


a vector
|a| magnitud del vector

- Producto vectorial

$$\mathbf{a} \wedge \mathbf{b}, \quad \mathbf{a} \times \mathbf{b}$$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = (|\mathbf{a}| |\mathbf{b}| \sin \theta) \hat{\mathbf{n}}$$



Unidades y dimensiones

Las unidades permiten asignar valores numéricos a las magnitudes.

El valor depende de la unidad empleada (Ej: 1 ft = 30,48 cm)

Hay magnitudes **básicas** y magnitudes **derivadas**

Las unidades de las magnitudes derivadas se expresan en términos de las unidades de las magnitudes básicas.

Ejemplo: la unidad de aceleración tiene dimensiones de distancia sobre cuadrado del tiempo

TABLE 1.4 SI Base Units

Physical Quantity	Name of Unit	Abbreviation
Mass	Kilogram	kg
Length	Meter	m
Time	Second	s ^a
Temperature	Kelvin	K
Amount of substance	Mole	mol
Electric current	Ampere	A
Luminous intensity	Candela	cd

*The abbreviation sec is frequently used.

Observación:

La notación $[]$ se usa para enfatizar la dimensión de una magnitud.
Por ejemplo si es una masa, aparece $[M]$

Las ecuaciones que relacionan varias cantidades físicas deben ser dimensionalmente homogéneas.

Ejemplo: $d = \frac{1}{2} at^2$ $[L] = \left[\frac{L}{T^2} \right] [T^2]$

Prefijos

Empleados para expresar múltiplos y sub múltiplos de una misma unidad

TABLE 1.5 Selected Prefixes Used in the Metric System

Prefix	Abbreviation	Meaning	Example (En longitudes)
Giga	G	10^9	1 gigameter (Gm) = 1×10^9 m
Mega	M	10^6	1 megameter (Mm) = 1×10^6 m
Kilo	k	10^3	1 kilometer (km) = 1×10^3 m
Deci	d	10^{-1}	1 decimeter (dm) = 0.1 m
Centi	c	10^{-2}	1 centimeter (cm) = 0.01 m
Milli	m	10^{-3}	1 millimeter (mm) = 0.001 m
Micro	μ^a	10^{-6}	1 micrometer (μ m) = 1×10^{-6} m
Nano	n	10^{-9}	1 nanometer (nm) = 1×10^{-9} m
Pico	p	10^{-12}	1 picometer (pm) = 1×10^{-12} m
Femto	f	10^{-15}	1 femtometer (fm) = 1×10^{-15} m

^aThis is the Greek letter mu (pronounced "mew").

Procesos Físicos

Partículas y Campos

Procesos físicos

- Cambios en los cuerpos o los campos.
- Suceden en el espacio y el tiempo físico.

Elementos que componen los procesos físicos

Cuerpos

- sistemas de partículas separadas espacialmente
- medios continuos

Campos

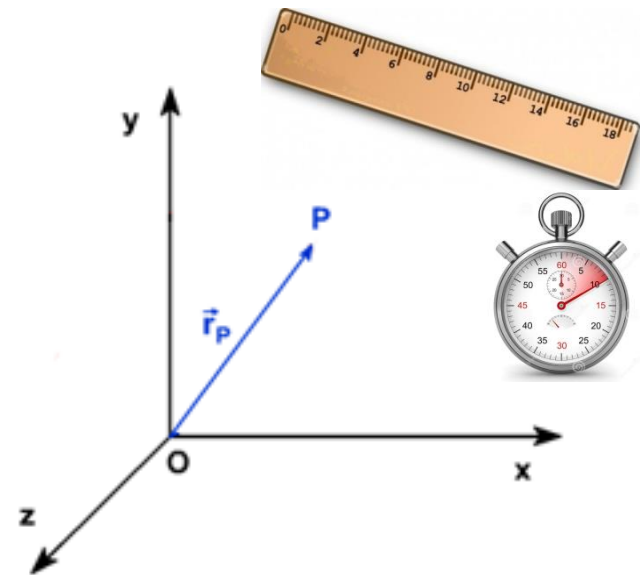
- de fuerza : definen interacciones entre partículas o entre porciones de un medio continuo

Descripción de procesos físicos

Espacio físico: homogéneo e isótropo

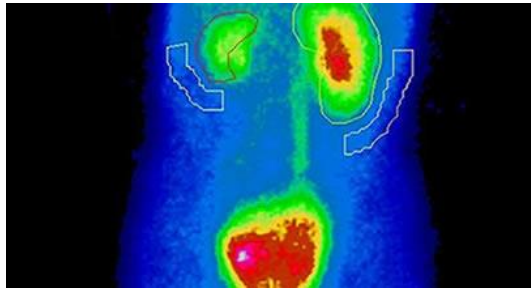
Tiempo : homogéneo

Sistemas de referencia de tiempo y espacio
(en particular sistemas inerciales)

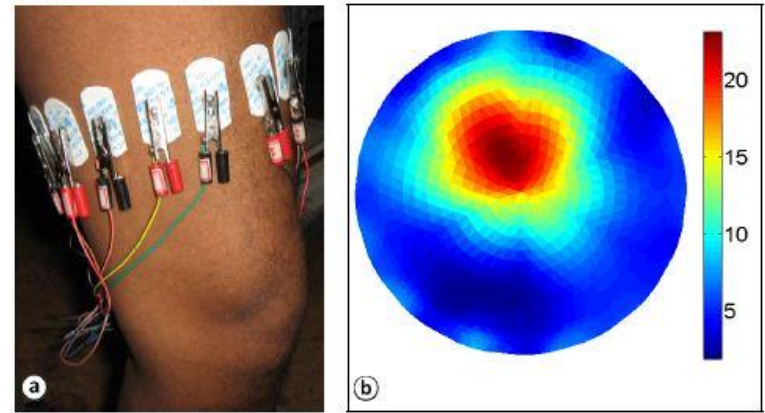


Ejemplos de Procesos que involucran Campos Escalares:

Distribución espacial de magnitudes físicas escalares
Estacionaria
Variable en el tiempo



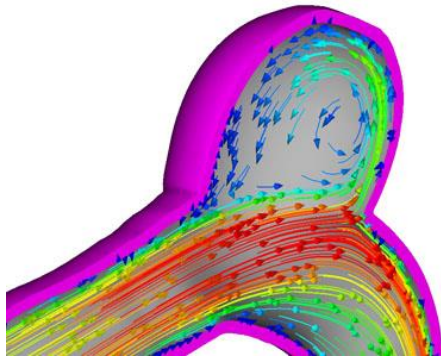
Gammaografía renal



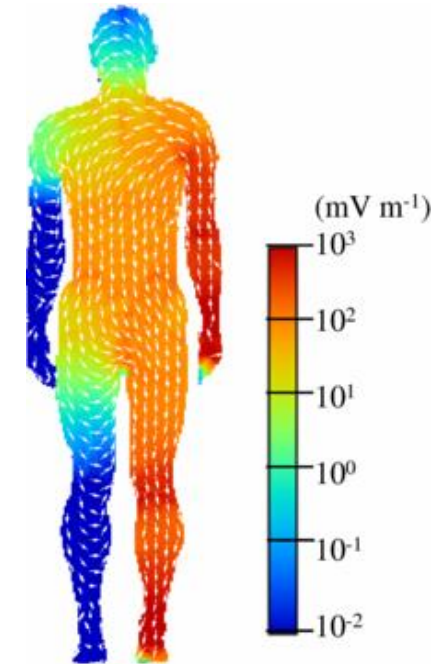
Tomografía eléctrica de impedancia. Campo de impedancia. Plano transversal al fémur

Ejemplos de Procesos que involucran Campos vectoriales:

Distribución espacial de magnitudes físicas vectoriales
Estacionaria
Variable en el tiempo



Campo de velocidades en arteria cerebral media con aneurisma. Obtenida por simulación digital



Campo eléctrico inducido en una persona sometida a una tensión a través de contactos eléctrico en mano y pie izquierdo

Dinámica de partículas y sistemas de partículas

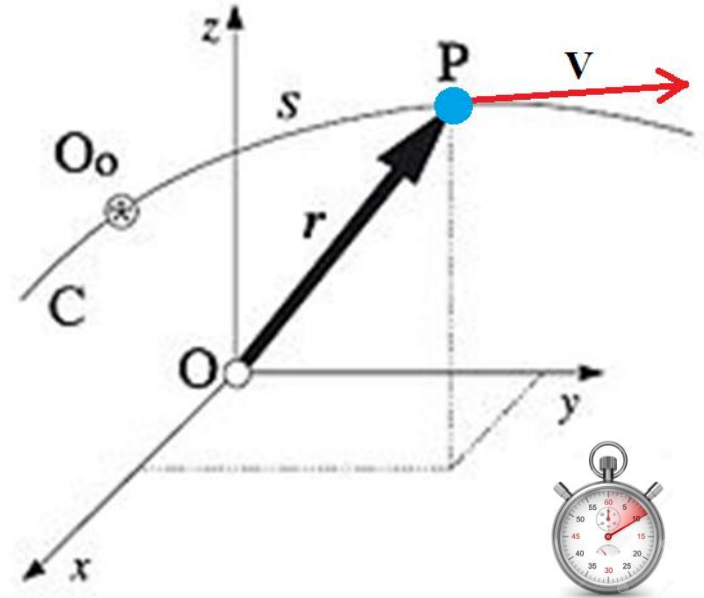
Cinemática clásica de una partícula

Trayectoria: Correspondencia entre instantes de tiempo y posiciones de una partícula

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$$

Velocidad:
$$\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}(t)}{dt}$$

Aceleración:
$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt}$$



Dinámica clásica de una partícula

Descripción espacio temporal más simple: empleando sistemas inerciales

Cantidad de movimiento o momento lineal
$$\vec{p}(t) = m \vec{v}(t)$$

Segunda ley de Newton
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} \quad \vec{F} = \sum_i \vec{F}_i$$

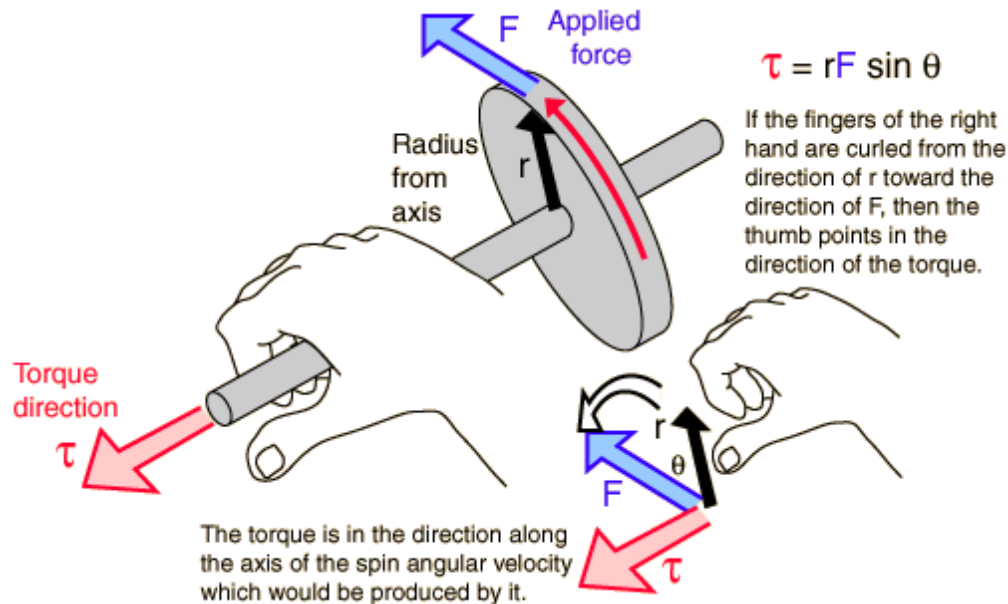
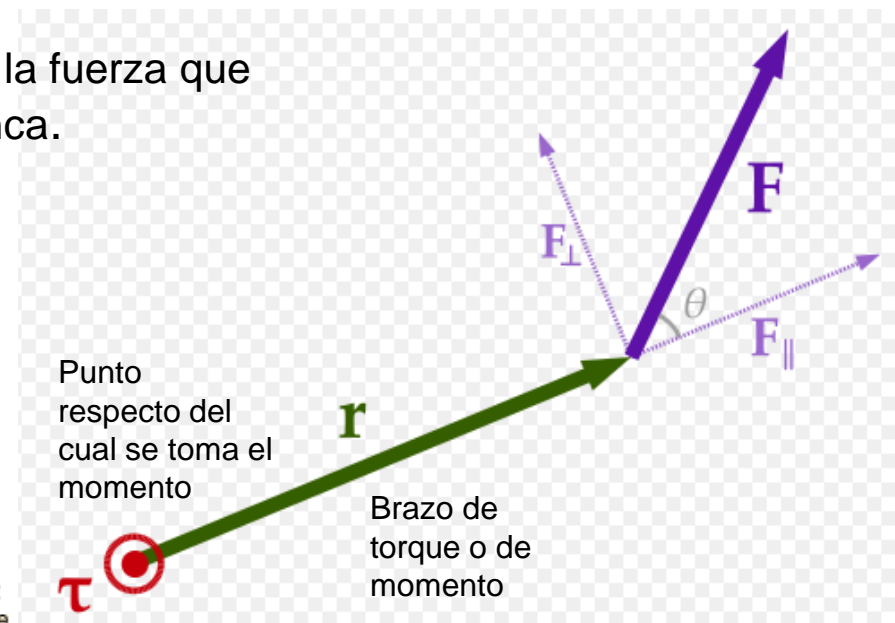
Torque

Torque, momento o momento de una fuerza es una medida de la tendencia de una fuerza a rotar un objeto por un eje.

Es el producto vectorial (o producto cruz) entre la fuerza que tiende a producir la rotación y el brazo de palanca.

$$\vec{\tau} = \vec{F} \times \vec{d}$$

$$Nm \quad N \quad m$$



Torques y momento angular

Momento angular de una partícula respecto a un origen

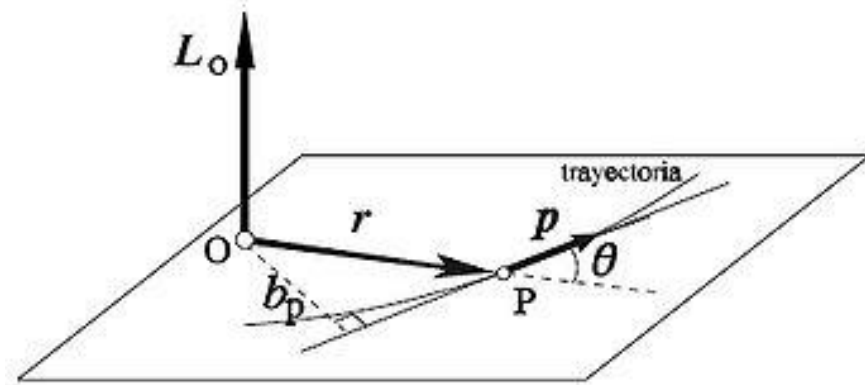
$$\vec{L} = \vec{r}(t) \times \vec{p}(t)$$

Torque o Momento de una fuerza

$$\vec{M} = \vec{r}(t) \times \vec{F}(t)$$

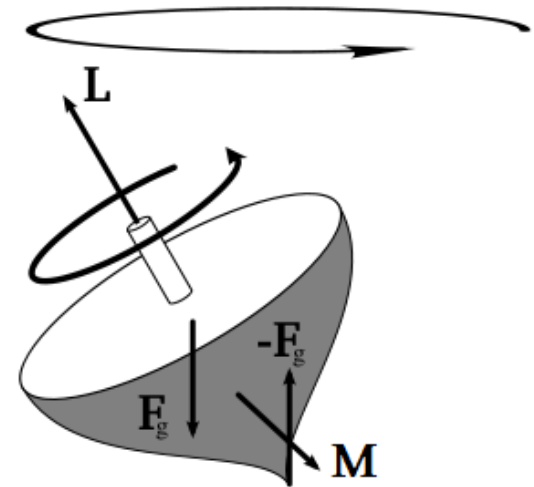
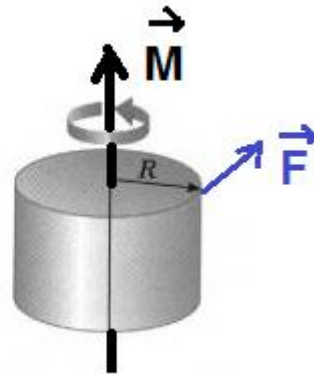
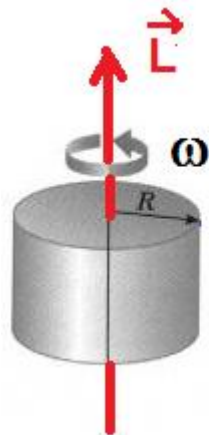
Ley de variación del momento angular

$$\frac{d}{dt} \vec{L} = \vec{M}$$



Solid cylinder or disk

$$I_c = \frac{1}{2} MR^2$$



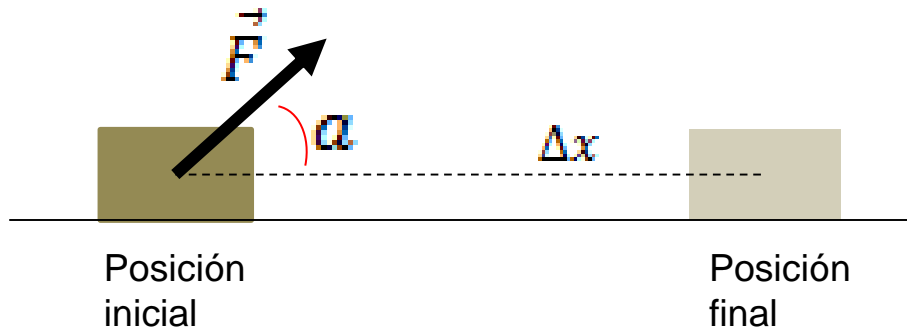
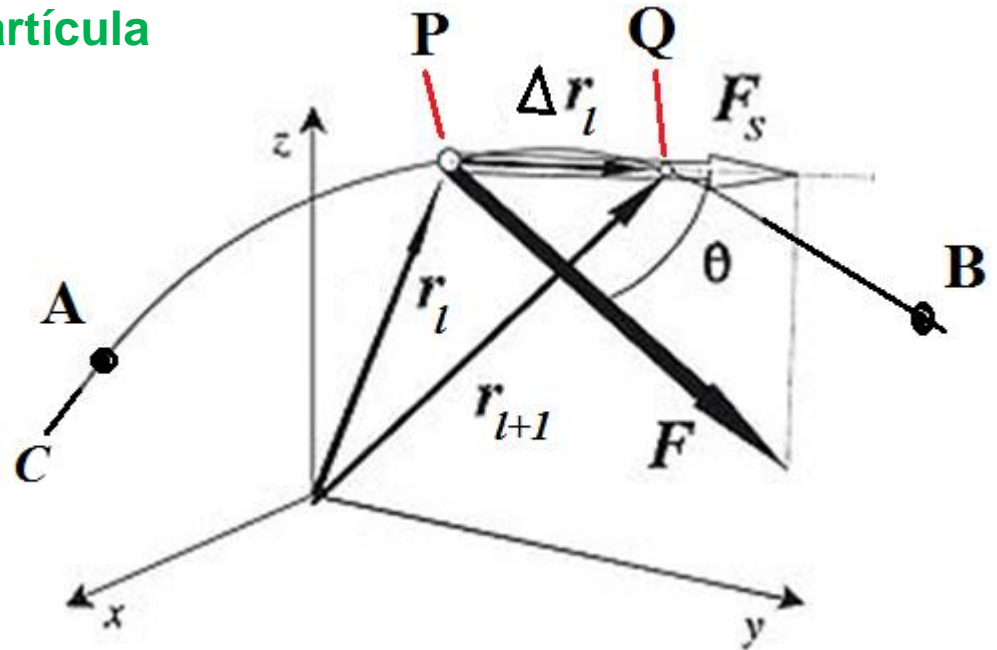
Trabajo de una fuerza sobre una partícula

$$W \approx \sum \vec{F}(\vec{r}_l) \cdot \Delta \vec{r}_l$$

Producto escalar

$$\Delta \vec{r}_l = \vec{r}_{l+1} - \vec{r}_l$$

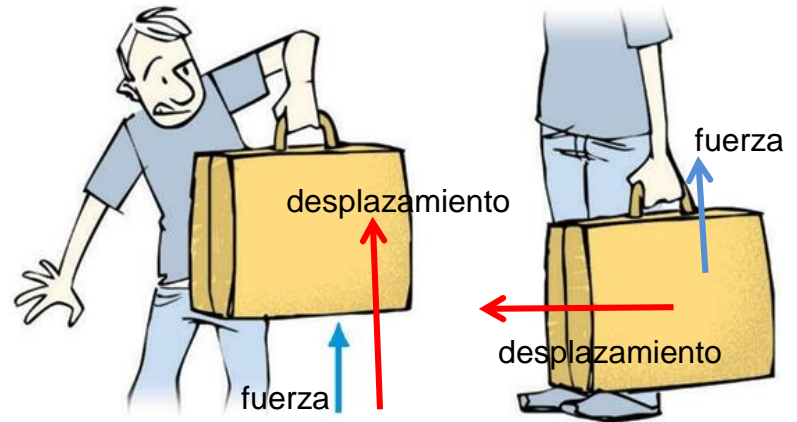
$$W = \int_C \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}$$



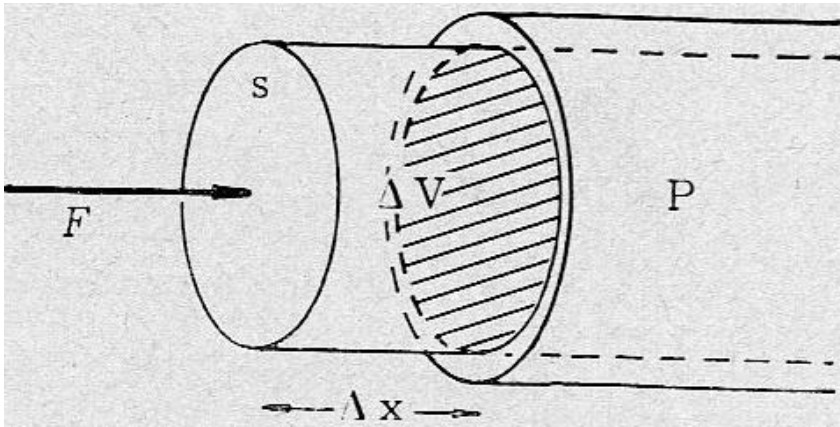
Trabajo W de una fuerza F:

$$W_F = F \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha$$

Unidad: [J] Joule



Ejemplo :Trabajo y potencia de ventrículo izquierdo



F: fuerza
P: presión
s: superficie (sección)
x: distancia
V: volumen

Volumen de eyección sistólico ventrículo izquierdo (basal): 50-70cm³

Presión **media** aorta ascendente durante eyección: 90mmHg = 11997 Pa (aprox).

Tiempo de eyección VI en sístole (a 70 latidos/min) = 0,3 s (aprox)

$$W = F \cdot \Delta x$$

$$W = 11997 \text{ Pa} \cdot 7 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 0.839 \text{ J}$$

$$F = P \cdot s$$

$$W = P \Delta V$$

$$\text{Potencia} = \frac{0,839 \text{ J}}{0,3 \text{ s}} = 2,79 \text{ Watts}$$

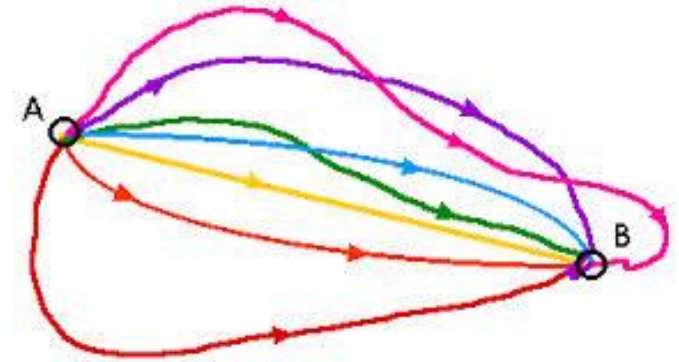
Fuerzas conservativas

W depende solamente de los puntos iniciales y finales y no de la trayectoria

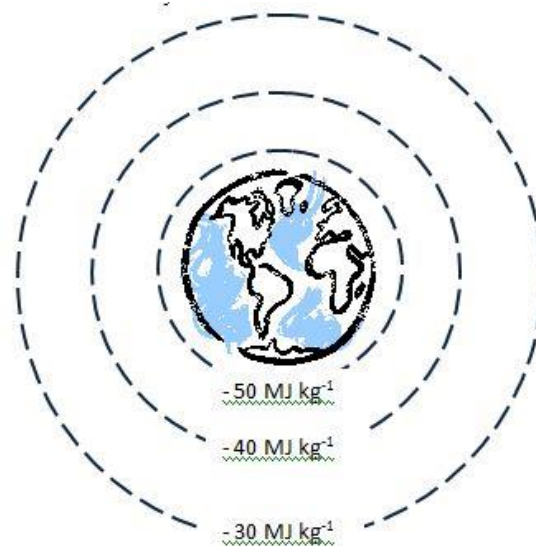
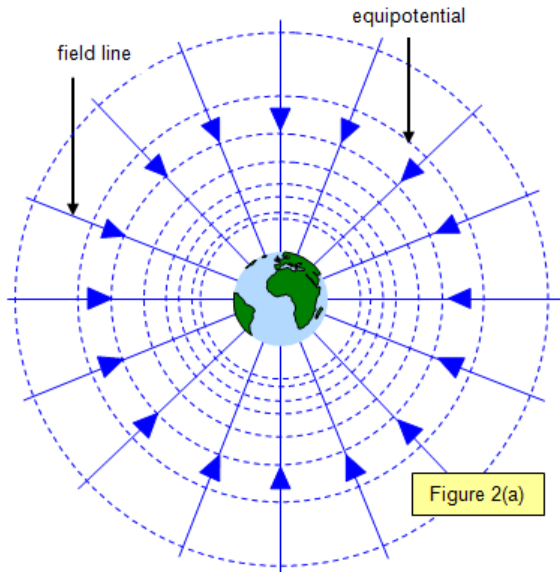
La fuerza $\vec{F}(\vec{r})$ se obtiene como el gradiente de un potencial $U(\vec{r})$ escalar.

$$\vec{F}(\vec{r}) = -\nabla U(\vec{r})$$

$$\nabla U(\vec{r}) = \frac{\partial U(\vec{r})}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial U(\vec{r})}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial U(\vec{r})}{\partial z} \vec{k}$$



Ejemplos:

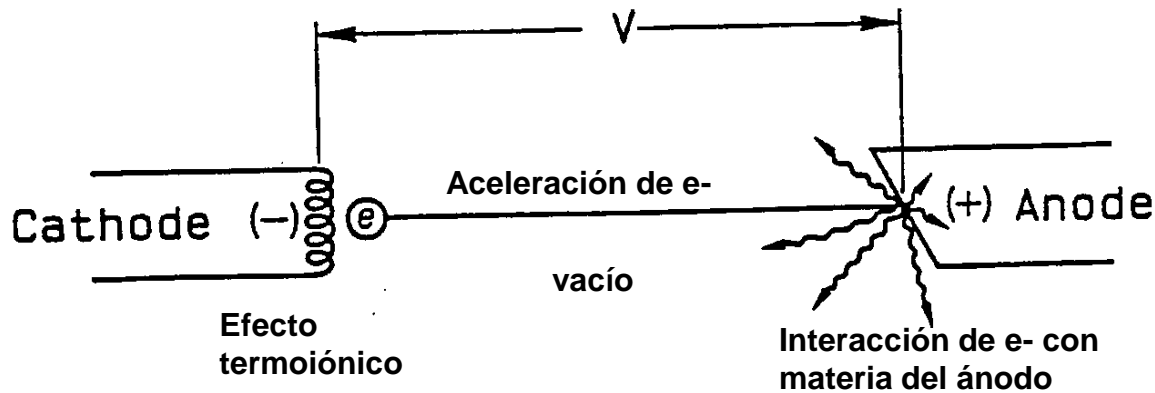


Conservación de la energía

De la segunda ley de Newton aplicada al movimiento de una partícula actuada por un campo de fuerza conservativo se desprende la conservación de la energía

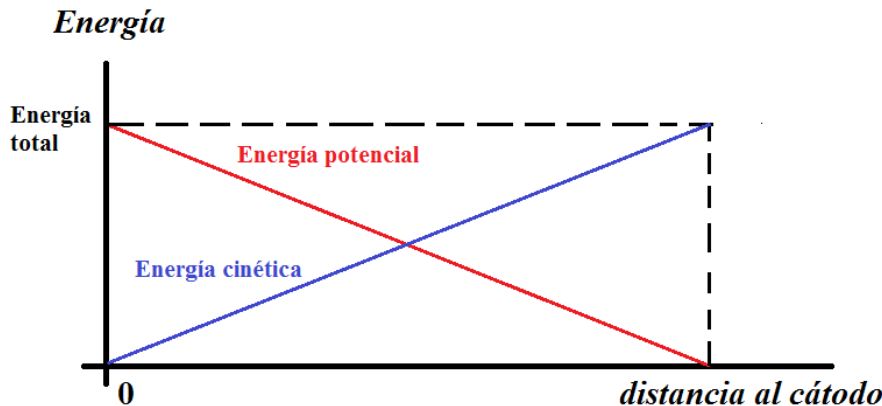
$$\frac{1}{2}mv^2 + U(\vec{r}) = E$$

Ejemplo: Aceleración de un electrón en tubo de Rayos X



$$E_p = U = e \cdot V$$

$$E_{cin} = \frac{m_{electron}}{2} \cdot v^2$$



Sistemas de partículas y leyes de conservación

Sistema de partículas:

Conjunto de partículas que interactúan entre si

Ambiente:

Lo que no forma parte del sistema

Leyes de conservación para un sistema aislado:

- De la masa
- De la cantidad de movimiento
- De la energía
- Del momento angular

Segunda ley de Newton para cada partícula de masa m_k

$$\frac{d\vec{p}_k}{dt} = \vec{F}_k$$

$$\vec{p}_k(t) = m_k \vec{v}_k(t)$$

$$k = 1, 2, \dots, N$$

Fuerza sobre la partícula k

$$\vec{F}_k = \vec{F}_{ext,k} + \sum_{j \neq k} \vec{F}_{j,k}$$

Fuerzas que
proviene del
ambiente

Fuerzas entre
partículas del
sistema

Tercera ley de Newton
Acción y reacción

$$\vec{F}_{j,k} = -\vec{F}_{k,j}$$

Conservación de la cantidad de movimiento de un sistema de partículas

En ausencia de fuerzas debidas al ambiente
(sistema aislado)

$$\vec{F}_k = \cancel{\vec{F}_{ext,k}} + \sum_{j \neq k} \vec{F}_{j,k}$$

Si se verifica la ley de acción y reacción

$$\sum_k \sum_{j \neq k} \vec{F}_{j,k} = \vec{0}$$

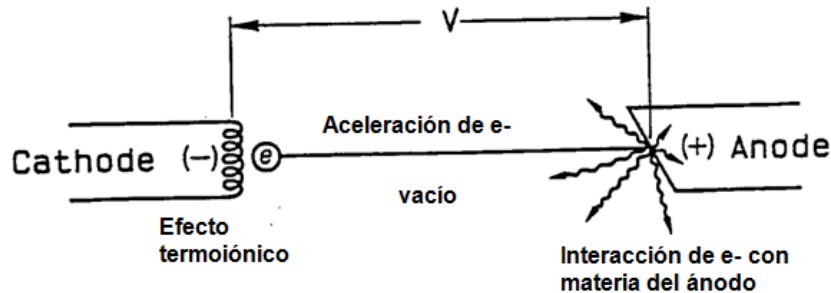
$$\sum_k \frac{d\vec{p}_k}{dt} = \sum_k \sum_{j \neq k} \vec{F}_{j,k} = \vec{0} = \frac{d}{dt} \underbrace{\sum_k \vec{p}_k}$$

Cantidad de movimiento
del sistema

Correcciones Relativistas

Necesidad de correcciones relativistas para el movimiento de electrones

Ejemplo: tubo de RX operado a 120kV



Energía del electrón:

$$\frac{1}{2}mv^2 + U(\vec{r}) = E$$

$$E_e = \frac{1}{2} m_e v_e^2(x) + (-e) V(x) = 120keV$$

Sobre el ánodo (distancia d desde el cátodo): $v_e(d) = \sqrt{\frac{2 \cdot 120keV}{m_e}}$

$$v_e(d) = 2.054 \times 10^8 \frac{m}{s} \quad \text{68\% de la velocidad de la luz en el vacío}$$

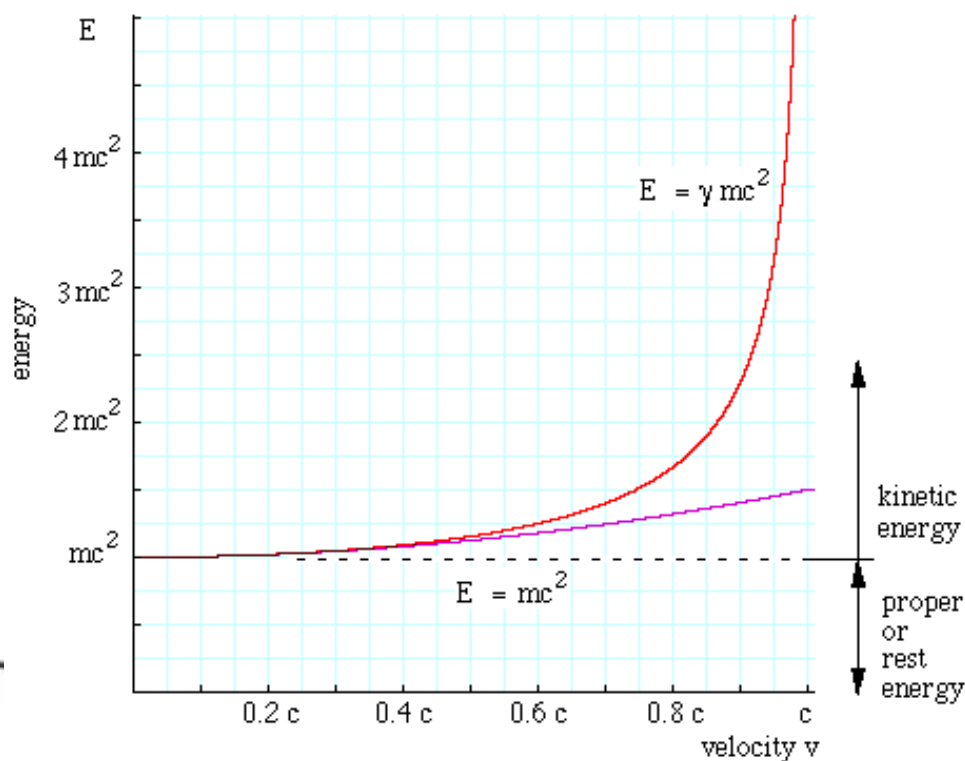
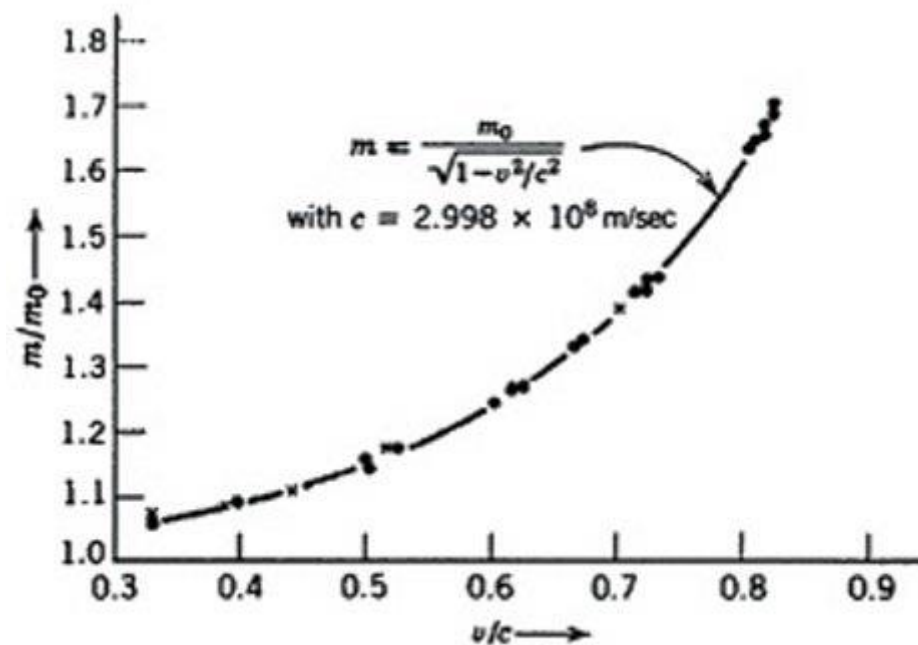
Correcciones relativistas para una partícula con masa en reposo no nula

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$$

$$\vec{p}(t) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \vec{v}(t) = m \vec{v}(t)$$

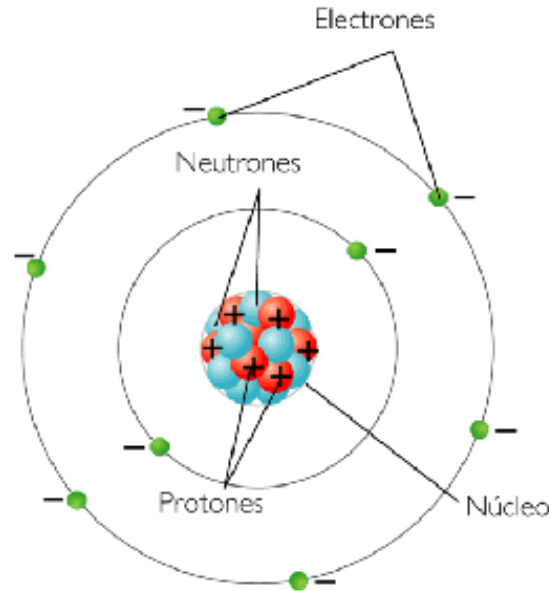
$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2 + \dots$$

Energía en reposo
 $m_0 c^2$



Electricidad y Magnetismo

Carga eléctrica



Aparece asociada a partículas sub-atómicas (fundamentalmente e y p)

Esta cuantizada

Carga del electrón e- $-1.602\ 17 \times 10^{-19}$ C

Carga del protón e+ $+1.602\ 17 \times 10^{-19}$ C

$$1\ \mathbf{C} = 6,27 \times 10^{18}\ e^-$$

La carga total de un sistema aislado se conserva

Campos Eléctricos y fuerzas debidas a campos eléctricos

Se dice que en un punto del espacio existe un **vector campo eléctrico** si colocando una carga de prueba **positiva** en dicho punto aparece una fuerza sobre esa carga.

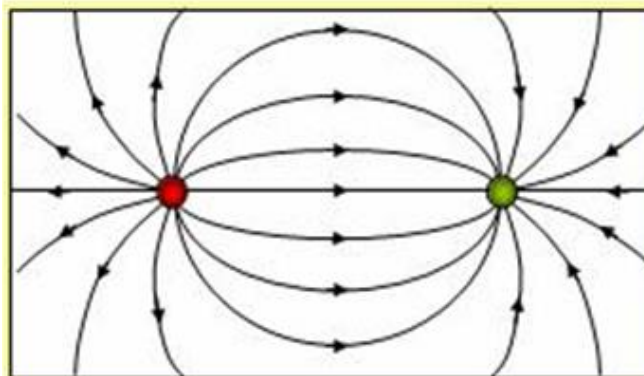
La dirección y el sentido del campo eléctrico son los de la fuerza y su módulo es el valor del módulo de la fuerza dividido el valor de la carga de prueba

Definición operacional

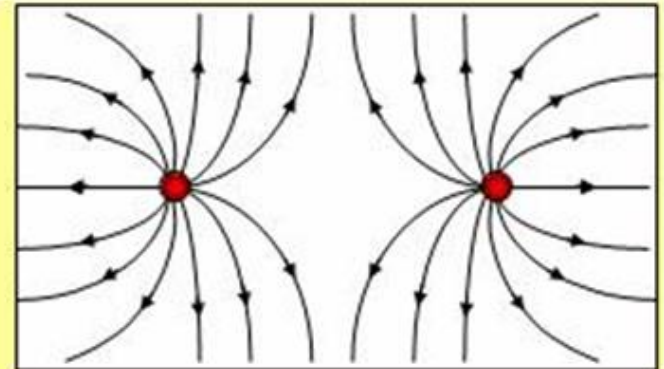
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$$[E] = \frac{[F]}{[q]} \quad \frac{V}{m} = \frac{N}{C}$$

Cargas eléctricas como fuentes del campo eléctrico estático:

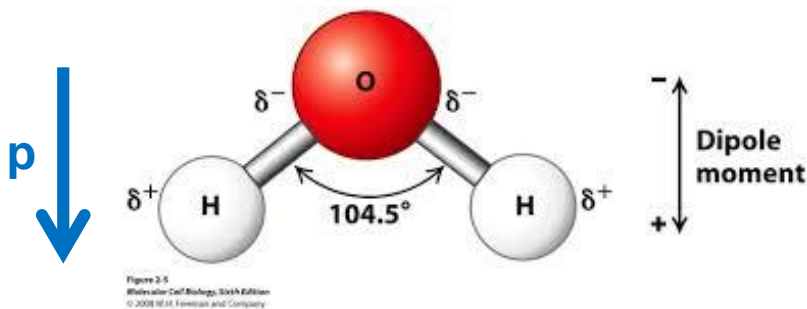
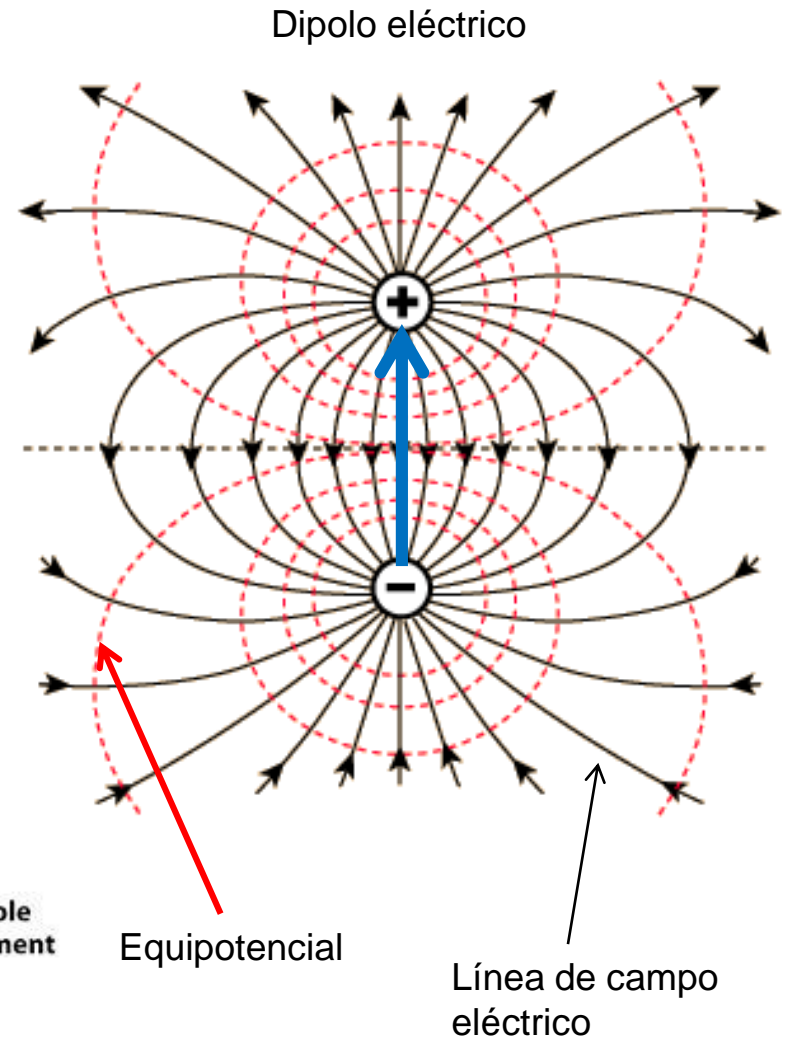
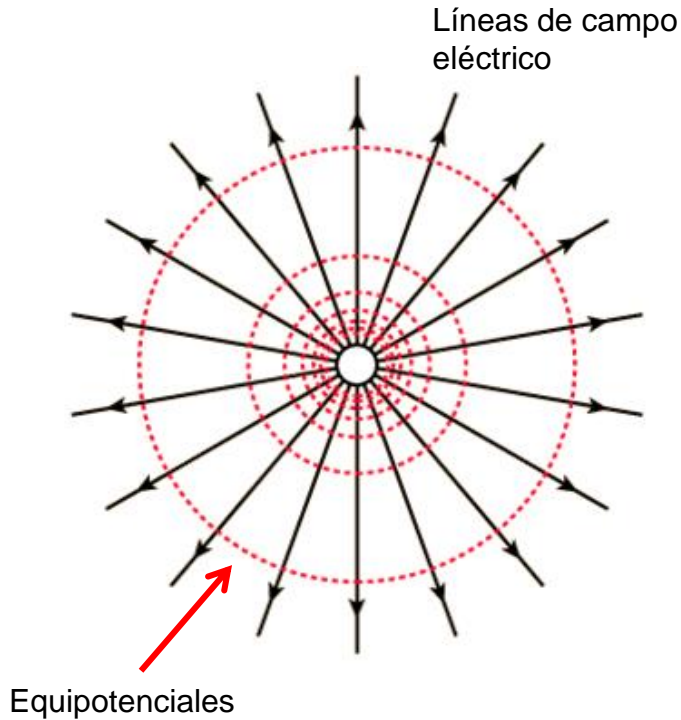


Líneas de campo eléctrico alrededor de dos cargas: una positiva y una negativa.



Líneas de campo eléctrico alrededor de dos cargas positivas.

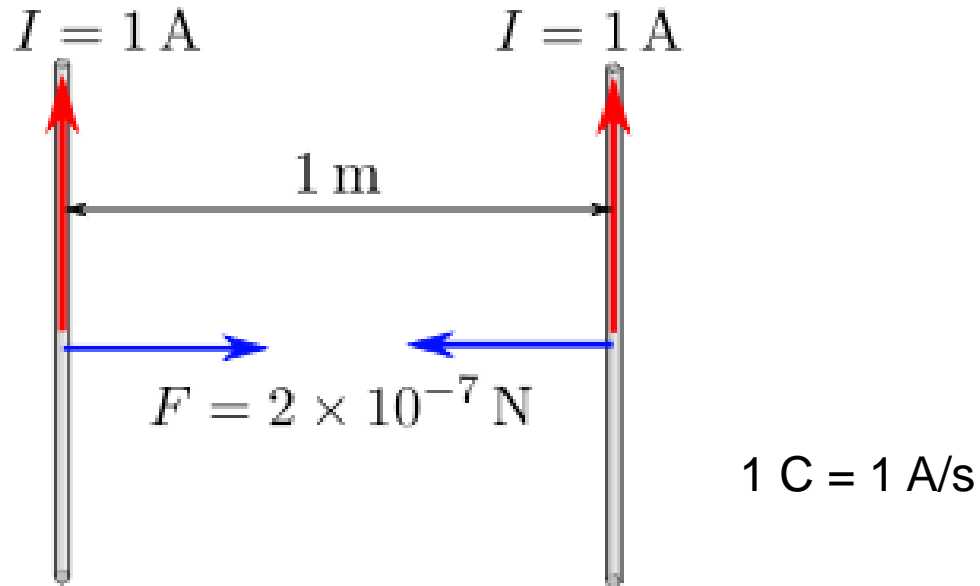
Voltaje o diferencia de potencial (Voltios) entre 2 puntos: trabajo sobre la unidad de carga (C) para desplazarla de un punto al otro en contra de la fuerza asociada a un campo eléctrico.



Corrientes eléctricas

Corriente eléctrica – Ampere (A) : carga que atraviesa una superficie en la unidad de tiempo.

Definición operacional



En un sistema abierto la carga total puede no conservarse.

La velocidad de variación de la carga total es igual a la corriente total a través de la frontera del sistema

Campos Magnéticos y torques debidos a campos magnéticos

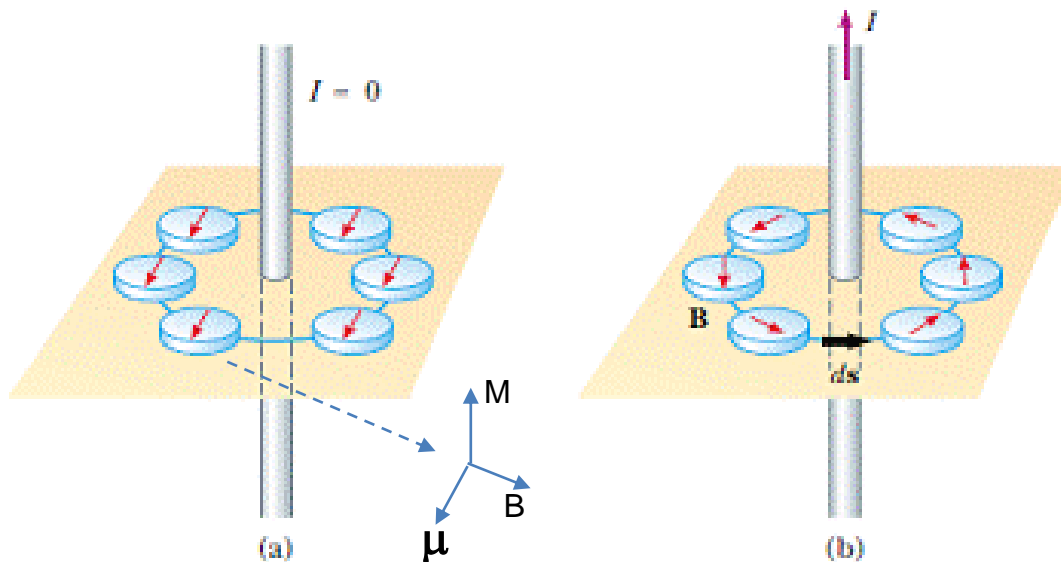
Se dice que en un punto del espacio existe un **vector campo magnético \mathbf{B}** si colocando un dipolo magnético de prueba (imán, representado como vector $\boldsymbol{\mu}$) en dicho punto aparece un momento de fuerza (torque \mathbf{M}) que verifica la correlación:

Correlación empírica

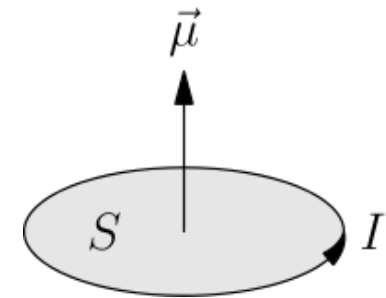
$$\vec{\mathbf{M}} = \vec{\boldsymbol{\mu}} \times \vec{\mathbf{B}}$$

$$\begin{aligned} [\mathbf{M}] &= \text{Nm} \\ [\boldsymbol{\mu}] &= \text{Nm/T} \\ [\mathbf{B}] &= \text{T} \end{aligned}$$

Corrientes eléctricas como fuentes del campo magnético:



Movimiento de partículas cargadas como generadoras de momento magnético:



Fuerza sobre una carga en movimiento en un campo electromagnético

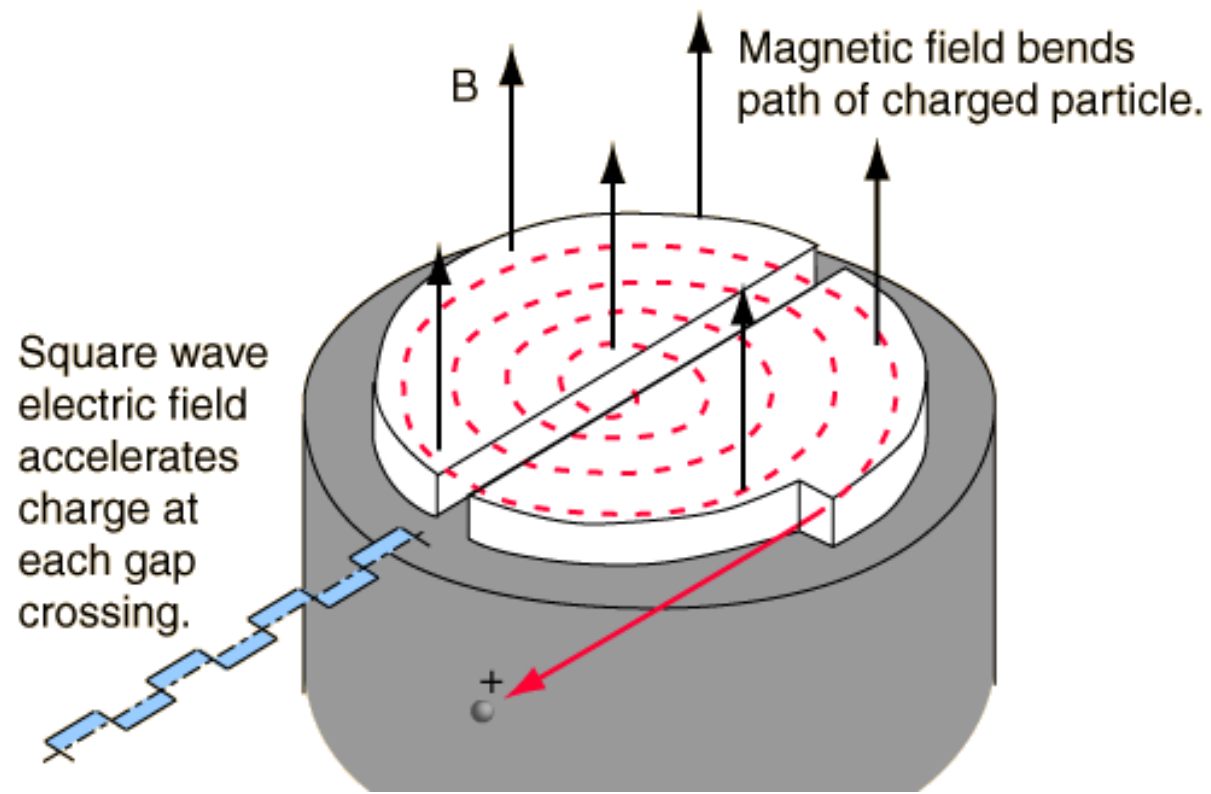
$$\vec{F}_E = q \vec{E}$$

$$\vec{F}_B = q (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\vec{F}_{EB} = \vec{F}_E + \vec{F}_B$$

$$\vec{F}_B \cdot \vec{v} = 0 \quad \vec{F}_B \perp \vec{v}$$

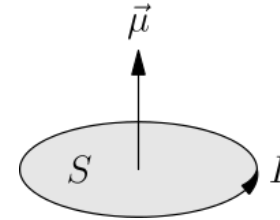
$$W_{\vec{F}_B} = 0$$



Precesión del momento magnético en un campo magnético

Ley de variación del momento angular

$$\frac{d}{dt} \vec{L} = \vec{M}$$

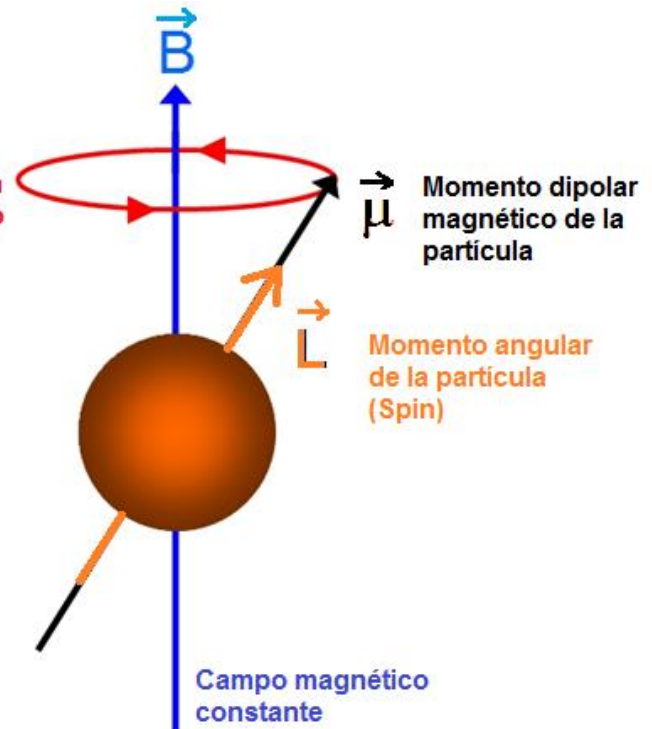


Relación giromagnética entre el momento magnético y el momento angular $\vec{\mu} = \gamma \cdot \vec{L}$

Momento mecánico sobre la partícula

$$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

Precesión del Spin de una partícula con momento magnético no nulo



Ley de precesión del momento magnético

$$\frac{d}{dt} \vec{\mu} = \gamma \cdot (\vec{\mu} \times \vec{B})$$

Estructura atómica y molecular

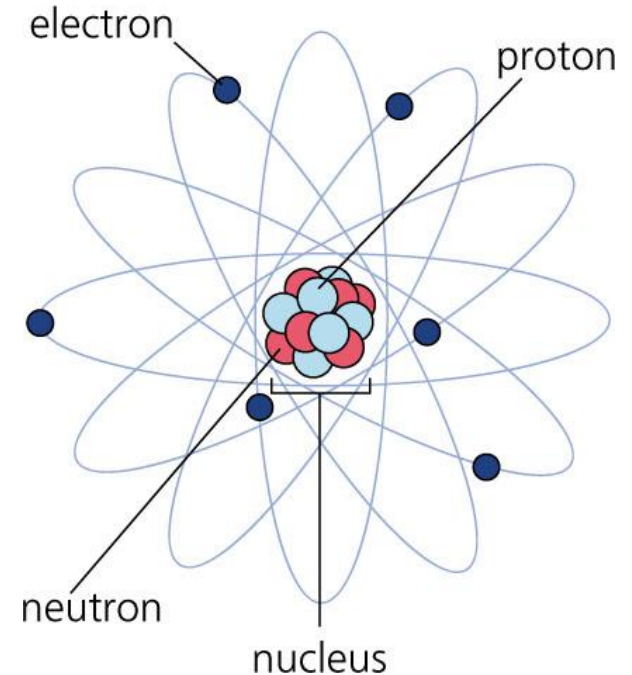
Estructura atómica – Modelo de Bohr del átomo

Representación “planetaria” compuesto por:

-Núcleo : protones (carga +) y neutrones

-Electrones (carga -)

Nucleones: conjunto de protones y neutrones



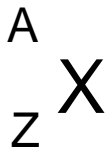
Z = número atómico

es el número de **protones** en el núcleo

define al elemento

es idéntico al número de electrones del átomo (no ionizado)

A = número másico es el número de nucleones en un átomo



X: representa el elemento

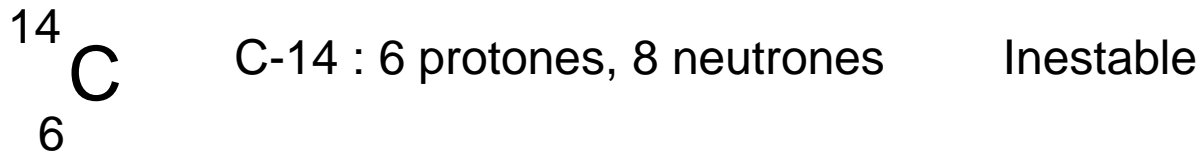
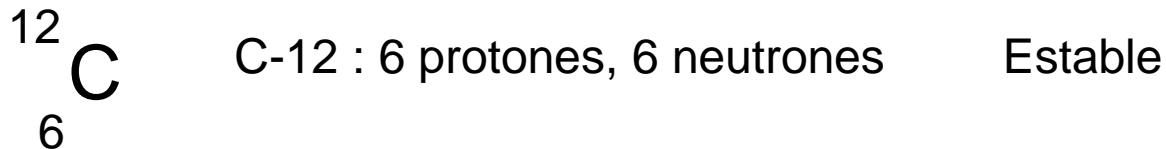
Cada elemento tiene su Z propio, ahora el A puede variar (porque varíe el número de neutrones)

Nucleido

Atomo con determinada combinación de protones y neutrones

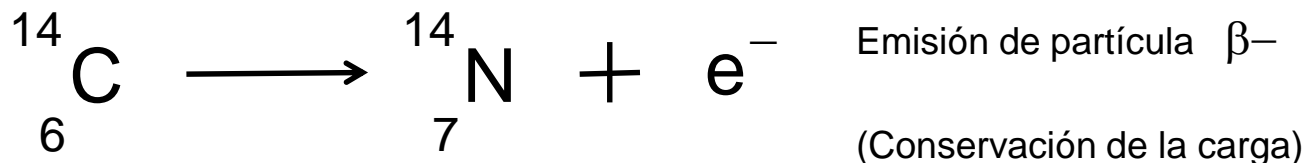
Radionucleidos

Hay nucleidos estables e inestables (radionucleidos)



Los inestables son átomos radioactivos que tienen tendencia a sufrir un proceso de reordenamiento del nucleo el cual implica entrega de energía (radiación)

En este proceso el átomo pasa de una configuración a otra más estable (final o intermedia)



Radiación

Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

Tipos de radiaciones

Radiación Particulada

Con carga eléctrica:

Alfa (núcleo de helio con carga positiva)

Beta - (electrones)

Beta + (positrones)

Protones

Sin carga eléctrica:

Neutrones

Radiación Electromagnética

Desde el punto de vista clásico: la energía de las ondas electromagnéticas está distribuida en forma continua en el espacio.

Desde el punto de vista cuántico: la energía de las ondas electromagnéticas está concentrada en paquetes de energía (fotones)

Radiaciones Electromagnéticas habitualmente usadas para obtención de imágenes en medicina

(Radiaciones que se registran mediante los sensores de los sistemas)

Rayos X: provenientes de los orbitales del átomo.

Radiología / Fluoroscopía
Tomografía Computada por RX

Radiación Gamma: Originada en el núcleo del átomo

Cámara Gamma Planar, SPECT
PET

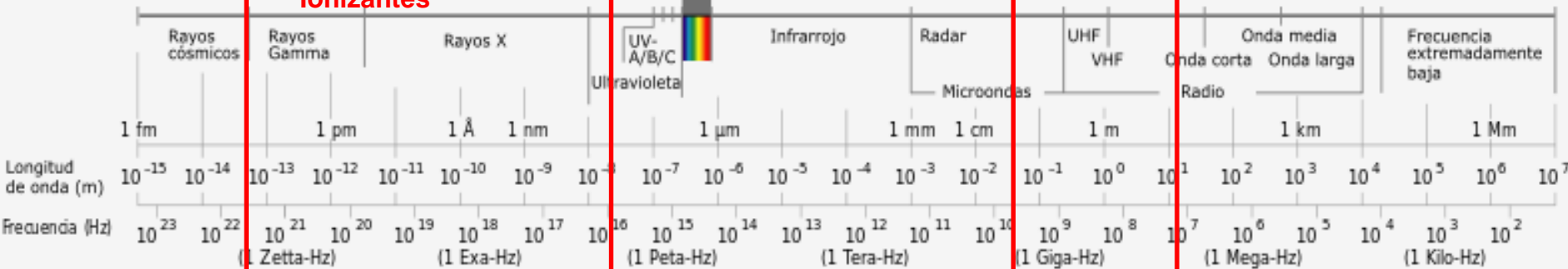
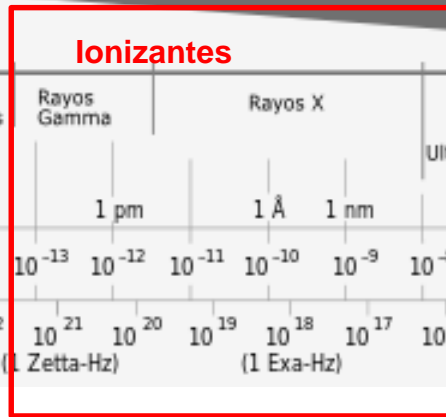
Radiación Electromagnética de RF

Tomografía por RM

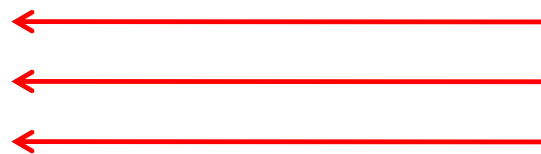
**Electromagnética
Ionizante**

Espectro Electromagnético

Espectro visible por el ojo humano (Luz)



$$\lambda \nu = c$$



Aumenta frecuencia

Disminuye longitud de onda

Aumenta energía (fotón)

Resultados relativistas y cuánticos para una partícula con masa en reposo nula

Cantidad de movimiento del fotón

$$p = \frac{E}{c}$$

Energía del fotón

$$E = h \nu$$

Sistemas confinados de partículas

La física cuántica muestra que la energía, la cantidad de movimiento y el momento angular se encuentran cuantizados en los sistemas confinados a una región acotada del espacio.

Electrones y niveles de energía

Los electrones en un átomo se encuentran ordenados en orbitales

Los electrones de los orbitales se ordenan, de la periferia al núcleo, en niveles de energía con valores negativos cuyos valores absolutos son crecientes.

Los más próximos se encuentran mas fuertemente ligados al núcleo.

Cuando un electrón deja de estar confinado su energía es positiva o nula.

Los electrones de los orbitales externos son los que participan en los enlaces químicos.

Cuando un electrón pasa de un orbital a otro emite o absorbe energía. Un posible mecanismo de pasaje es por absorción o emisión de un fotón (de energía del orden del eV) de acuerdo con la ecuación de Bohr

$$E_1 - E_2 = h \nu$$

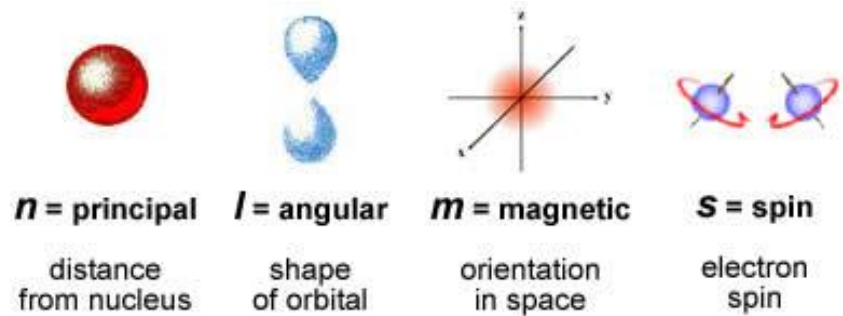
Orbitales y números cuánticos para un átomo

Cada orbital de un átomo se caracteriza por 3 números cuánticos

La descripción de un electrón en un orbital requiere de un número cuántico adicional

- n : número cuántico principal
- l : número cuántico orbital
- m : número cuántico magnético

S : número cuántico de spin



Quantum number	Name	What it labels	Possible values	Notes
n	principal	electron energy level or shell number	1, 2, 3, ...	Except for d-orbitals, the shell number matches the row of the periodic table.
l	azimuthal	orbital type: s, p, d, f	0, 1, 2, ..., n-1	0 = s orbital 1 = p orbital 2 = d orbital 3 = f orbital
m_l	magnetic	orbital sub-type	integers between and including $-l$ and $+l$: $-l, -l+1, \dots, l-1, l$	$l = 0$ (s): 2 e^- in one orbital $l = 1$ (p): 2 e^- in each of three sub orbitals (p_x, p_y, p_z) $l = 2$ (d): 2 e^- in each of 5 sub orbitals ($d_{xy}, d_{xz}, d_{yz}, d_{x^2-y^2}, d_{z^2}$)
m_s	spin	electron spin	$\pm \frac{1}{2}$	Spins in any single sub-orbital must be paired.

Principio de exclusión de Pauli

En los sistemas confinados las partículas pueden clasificarse en bosones y fermiones.

A los fermiones se les aplica el principio de exclusión de Pauli.

Permite comprender, sobre bases físicas, el ordenamiento de los elementos en la tabla periódica.

The quantum numbers			The number of the quantum states	
n	l	ml	In the subshell	In the coat
1	0 (s)	0	2	2
2	0 (s)	0	2	8
	1 (p)	-1,0,+1	6	
3	0 (s)	0	2	18
	1 (p)	-1,0,+1	6	
	2 (d)	-2,-1,0,+1,+2	10	
4	0 (s)	0	2	32
	1 (p)	-1,0,+1	6	
	2 (d)	-2,-1,0,+1,+2	10	
	3 (f)	-3,-2,-1,0,+1,+2,+3	14	

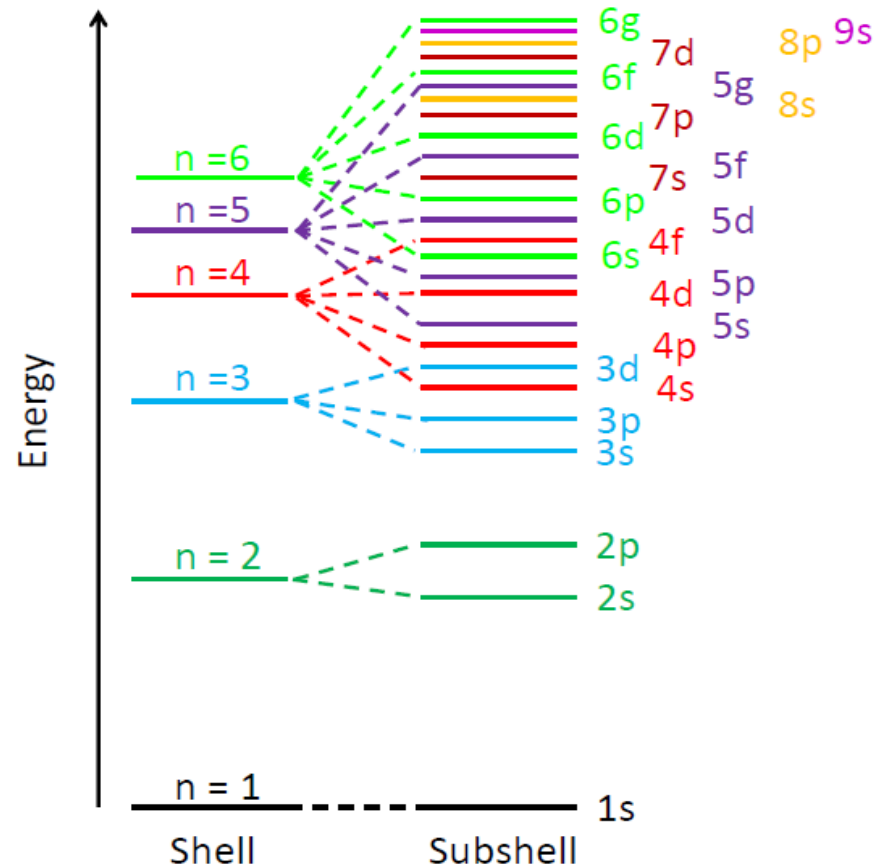
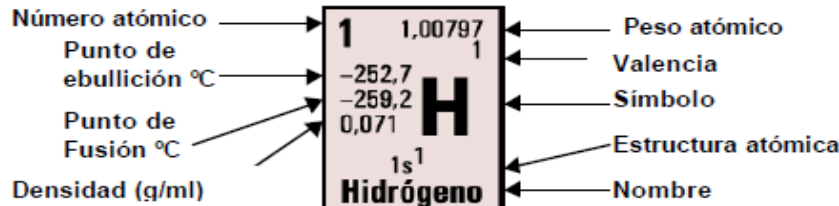


Tabla periódica de los elementos

Período	Grupo	
	1	
1	1, 0,0797 -252,7 -259,2 0,071 ^{1s} H Hidrógeno	2
2	3 6,941 1330 180,5 0,53 ^{1s²2s¹} Li Litio	4 9,0122 2770 1277 1,85 ^{1s²2s²} Be Berilio
3	11 22,9898 882 97,8 0,97 ^{[Ne]3s¹} Na Sodio	12 24,305 1107 650 1,74 ^{[Ne]3s²} Mg Magnesio



19 39,098 780 63,7 0,86 ^{[Ar]4s¹} K Potasio	20 40,08 1440 838 1,55 ^{[Ar]4s²} Ca Calcio	21 44,956 2730 1639 3,0 ^{[Ar]3d¹4s²} Sc Escandio	22 47,90 3260 1868 4,51 ^{[Ar]3d²4s²} Ti Titanio	23 50,942 3450 1800 4,51 ^{[Ar]3d²4s²} V Vanadio	24 51,996 2855 1875 7,19 ^{[Ar]3d³4s²} Cr Cromo	25 54,938 2150 1245 7,43 ^{[Ar]3d⁵4s¹} Mn Manganeso	26 55,847 2300 1536 7,88 ^{[Ar]3d⁶4s²} Fe Hierro	27 58,93 2900 1495 8,9 ^{[Ar]3d⁶4s²} Co Cobalto	28 58,71 2730 1453 8,9 ^{[Ar]3d⁸4s²} Ni Níquel	29 63,54 2505 1083 8,98 ^{[Ar]3d⁹4s¹} Cu Cobre	30 65,37 906 418,5 7,14 ^{[Kr]3d¹⁰4s¹} Zn Zinc	31 69,72 2237 29,8 5,91 ^{[Ar]3d¹⁰4s²4p¹} Ga Galio	32 72,59 2830 937,4 5,32 ^{[Ar]3d¹⁰4s²4p²} Ge Germanio	33 74,92 613 817 5,72 ^{[Ar]3d¹⁰4s²4p³} As Arsénico	34 78,96 885 217 4,79 ^{[Ar]3d¹⁰4s²4p⁴} Se Selenio	35 78,908 58 -7,2 3,12 ^{[Ar]3d¹⁰4s²4p⁵} Br Bromo	36 83,80 -152 -157,3 2,6 ^{[Ar]3d¹⁰4s²4p⁶} Kr Criptón
37 85,47 688 38,0 1,53 ^{[Kr]5s¹} Rb Rubidio	38 87,62 1380 768 2,6 ^{[Kr]5s²} Sr Estroncio	39 88,906 2827 1509 4,47 ^{[Kr]4d¹5s²} Y Itrio	40 91,22 3560 1852 6,49 ^{[Kr]4d²5s²} Zr Zirconio	41 92,906 3300 2468 8,4 ^{[Kr]4d³5s¹} Nb Niobio	42 95,94 5550 2140 10,2 ^{[Kr]4d⁴5s¹} Mo Molibdeno	43 97,9 4900 2500 11,5 ^{[Kr]4d⁵5s¹} Tc Tecnecio	44 101,07 4900 1966 12,2 ^{[Kr]4d⁶5s¹} Ru Rutenio	45 102,905 4500 1966 12,4 ^{[Kr]4d⁷5s¹} Rh Rodio	46 106,4 4900 1552 12,0 ^{[Kr]4d⁸5s¹} Pd Paladio	47 107,870 2210 960,8 10,5 ^{[Kr]4d⁹5s¹} Ag Plata	48 112,40 765 320,9 8,65 ^{[Kr]4d¹⁰5s¹} Cd Cadmio	49 114,82 2000 156,2 7,31 ^{[Kr]4d¹⁰5s²5p¹} In Indio	50 118,69 2270 231,9 7,30 ^{[Kr]4d¹⁰5s²5p²} Sn Estaño	51 121,75 1380 630,5 8,62 ^{[Kr]4d¹⁰5s²5p³} Sb Antimonio	52 127,60 898,8 446,5 5,24 ^{[Kr]4d¹⁰5s²5p⁴} Te Teluro	53 126,904 183 113,7 4,94 ^{[Kr]4d¹⁰5s²5p⁵} I Yodo	54 131,30 -106,0 -111,9 3,06 ^{[Kr]4d¹⁰5s²5p⁶} Xe Xenón
55 132,905 890 28,7 1,80 ^{[Xe]6s¹} Cs Cesio	56 137,34 1640 714 3,5 ^{[Xe]6s²} Ba Bario	57 138,91 3470 920 4,47 ^{[Xe]5f¹6s²} La Lantano	72 178,49 5400 2222 4,47 ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} Hf Hafnio	73 180,948 5425 2996 16,61 ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} Ta Tántalo	74 183,95 5830 3410 18,3 ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} W Volframio	75 186,2 5800 3180 21,0 ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} Re Renio	76 190,2 5500 3000 22,5 ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} Os Osmio	77 192,2 5300 2454 22,5 ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} Ir Iridio	78 195,09 4530 1760 21,4 ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} Pt Platino	79 196,967 2670 1083 18,3 ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} Au Oro	80 200,59 2870 -38,4 19,3 ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} Hg Mercurio	81 204,37 357 303 11,4 ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} Tl Talio	82 207,19 1725 327,4 9,8 ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} Pb Plomo	83 208,980 1990 271,3 11,4 ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} Bi Bismuto	84 (210) 254 18,2 ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} Po Polonio	85 (210) - - - ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} At Astatina	86 (222) - - - ^{[Xe]4f¹⁴6s²6p²} Rn Radón
87 (223) - - - ^{[Rn]7s¹} Fr Francio	88 (226) - - - ^{[Rn]7s²} Ra Radio	89 (227) - - - ^{[Rn]6d¹7s²} Ac Actinio	104 (261) - - - ^{[Rn]5f¹⁴6d¹7s²} Rf Rutherfordio	105 (262) - - - ^{[Rn]5f¹⁴6d¹7s²} Db Dubnio	106 (263) - - - ^{[Rn]5f¹⁴6d¹7s²} Sg Seabergio	107 (262) - - - ^{[Rn]5f¹⁴6d¹7s²} Bh Bohrio	108 (265) - - - ^{[Rn]5f¹⁴6d¹7s²} Hs Hassio	109 (266) - - - ^{[Rn]5f¹⁴6d¹7s²} Mt Meitnerio	110 (269) - - - ^{[Rn]5f¹⁴6d¹7s²} Uun Ununillio	111 (272) - - - ^{[Rn]5f¹⁴6d¹7s²} Uuu Unununio	112 (277) - - - ^{[Rn]5f¹⁴6d¹7s²} Uub Ununbio	114 (288) - - - ^{[Rn]5f¹⁴6d¹7s²} Uuq Ununquadio	116 (288) - - - ^{[Rn]5f¹⁴6d¹7s²} Uuh Ununhexio	118 (293) - - - ^{[Rn]5f¹⁴6d¹7s²} Uuo Ununoctio			

Lantánidos	6 140,12 3488 795 6,87 ^{[Xe]4f¹5d¹6s²} Ce Cerio	59 140,907 3127 835 6,77 ^{[Xe]4f³5d¹6s²} Pr Praseodimio	60 144,24 3027 7,00 ^{[Xe]4f⁴5d¹6s²} Nd Neodimio	61 (147) 1900 1072 7,54 ^{[Xe]4f⁵5d¹6s²} Pm Promecio	62 150,35 3000 825 7,54 ^{[Xe]4f⁶5d¹6s²} Sm Samario	63 151,96 2439 1312 7,89 ^{[Xe]4f⁷5d¹6s²} Eu Europio	64 157,25 2000 1083 8,27 ^{[Xe]4f⁷5d¹6s²} Gd Gadolinio	65 158,924 2600 1356 8,27 ^{[Xe]4f⁷5d¹6s²} Tb Terbio	66 162,50 2900 1407 8,54 ^{[Xe]4f⁹5d¹6s²} Dy Disproscio	67 164,930 2600 1451 8,80 ^{[Xe]4f¹⁰5d¹6s²} Ho Holmio	68 167,26 2900 1497 9,05 ^{[Xe]4f¹¹5d¹6s²} Er Erbio	69 168,934 1727 833 9,33 ^{[Xe]4f¹²5d¹6s²} Tm Tulio	70 173,04 1427 898 9,84 ^{[Xe]4f¹³5d¹6s²} Yb Iterbio	71 174,97 3327 9,84 ^{[Xe]4f¹⁴5d¹6s²} Lu Lutecio
	Actínidos	90 232,038 3850 1750 11,7 ^{[Rn]6d²7s²} Th Torio	91 (231) 3618 154 18,97 ^{[Rn]5f²6d¹7s²} Pa Protactinio	92 238,03 3618 1132 18,97 ^{[Rn]5f³6d¹7s²} U Uranio	93 (237) 3235 840 11,7 ^{[Rn]5f⁴6d¹7s²} Np Neptunio	94 (242) 3235 840 11,7 ^{[Rn]5f⁶6d¹7s²} Pu Plutonio	95 (243) 3456 840 11,7 ^{[Rn]5f⁷6d¹7s²} Am Americio	96 (247) 3456 840 11,7 ^{[Rn]5f⁷6d¹7s²} Cm Curio	97 (247) 3456 840 11,7 ^{[Rn]5f⁷6d¹7s²} Bk Berkelio	98 (251) 3456 840 11,7 ^{[Rn]5f⁸6d¹7s²} Cf Californio	99 (254) 3456 840 11,7 ^{[Rn]5f⁹6d¹7s²} Es Einstonio	100 (257) 3456 840 11,7 ^{[Rn]5f¹⁰6d¹7s²} Fm Fermio	101 (258) 3456 840 11,7 ^{[Rn]5f¹¹6d¹7s²} Md Mendelevio	102 (259) 3456 840 11,7 ^{[Rn]5f¹²6d¹7s²} No Nobelio

Notas:

- Metales
- Metaloides
- No metales
- Gases nobles

(1) Base en peso atómico carbono de 12 () indica el más estable o el de isótopo más conocido.

El número atómico caracteriza al elemento desde el punto de vista químico

Número de Avogadro $6,022 \times 10^{23}$

Moléculas y enlace químico

Las moléculas son agregados de átomos ligados por enlaces.

En el **enlace iónico** entre 2 átomos, un átomo cede un electrón al otro. Uno queda con una carga positiva y el otro con una carga negativa

Ej: KCl, NaCl, CaCl₂

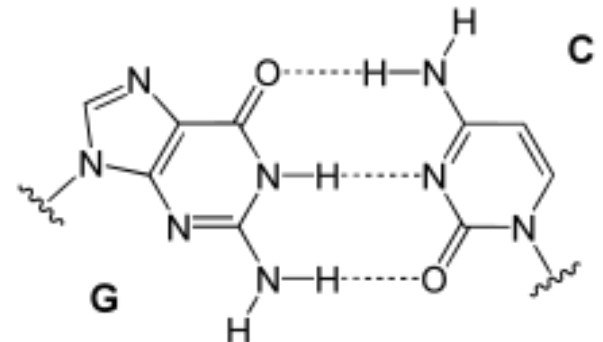
Tabla periódica de los elementos

La imagen muestra una tabla periódica de los elementos con los grupos 1 y 17 resaltados en rojo. El grupo 1 incluye los metales alcalinos (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr) y el hidrógeno (H). El grupo 17 incluye los halógenos (F, Cl, Br, I, At) y el astato (At). La tabla también muestra el número atómico, el símbolo químico y el nombre del elemento para cada casilla. Hay una leyenda de colores que clasifica a los elementos en metales alcalinos, metales alcalinotérreos, metales de transición, metales, no metales, gases nobles, y otros grupos.

En el **enlace covalente** entre 2 átomos, se forma un orbital molecular a partir de dos orbitales atómicos (uno de cada átomo). Cada átomo aporta un electrón al enlace (spines opuestos).

Ej: H₂, Cl₂, O₂, H₂O, CH₄

El **enlace por puente de Hidrógeno** se da entre un H, unido covalentemente con un átomo electronegativo y otro átomo electronegativo



Reacciones químicas

Reacciones químicas

Es el resultado de la interacción, en una colisión, de reactantes (átomos o moléculas) que produce un reordenamiento de los átomos, originando los productos de la reacción.

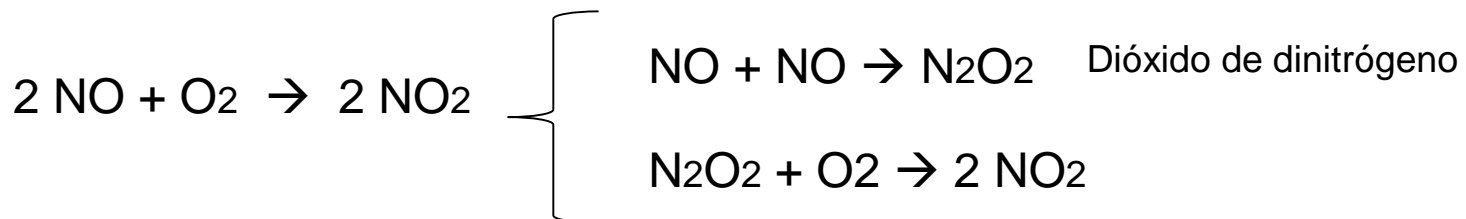
Tipos de reacción:

Elementales

Combinación	$A + B \rightarrow AB$	$H + H \rightarrow H_2$
Descomposición	$AB \rightarrow A + B$	$H_2 \rightarrow H + H$
Desplazamiento	$AB + C \rightarrow AC + B$	

Complejas

Formadas por conjuntos de reacciones elementales concatenadas



Balanceo de ecuaciones

Conservación del número de átomos de cada elemento

Conservación de la carga



C_2H_4 Eteno o etileno

C_2H_6 Etano

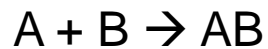
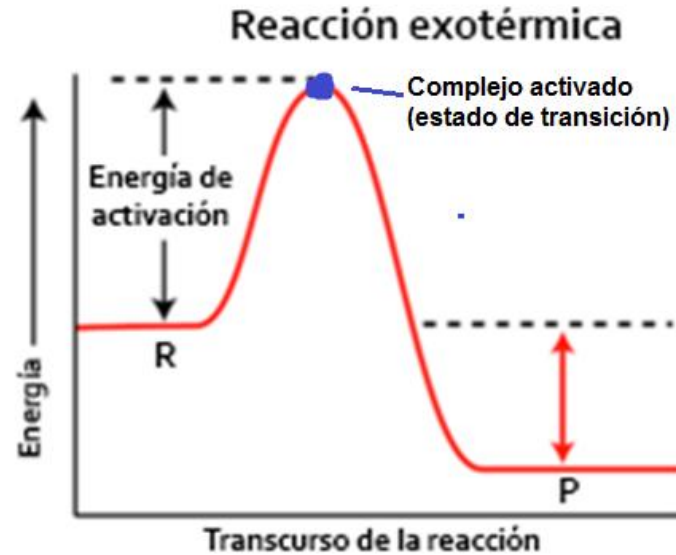
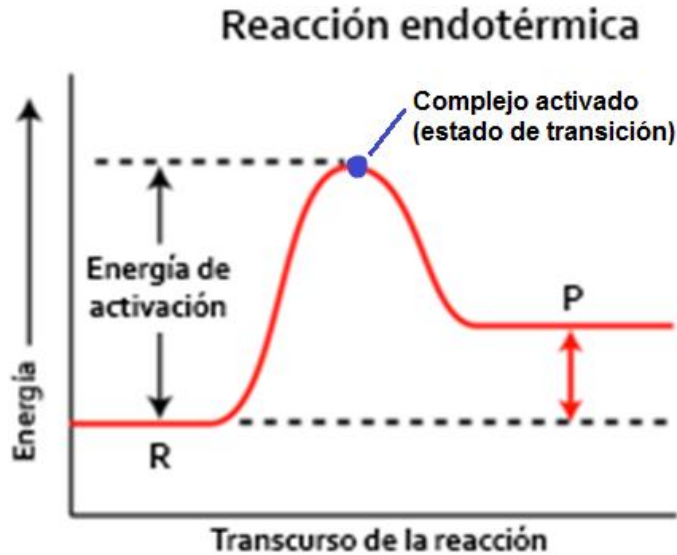


H_* Átomo de Hidrógeno



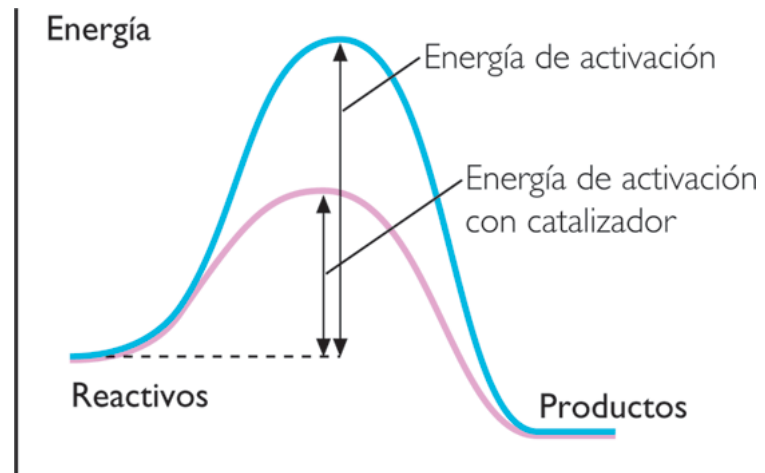
OH^- Hidroxilo

Reacciones elementales y catálisis



$$v_{Reacc} = k [A][B]$$

$$k = k_0 e^{-\frac{E_{act}}{RT}}$$



Ondas mecánicas en la materia

Onda

Perturbación en la magnitud de una propiedad de un medio, la cual se propaga, transportando energía.

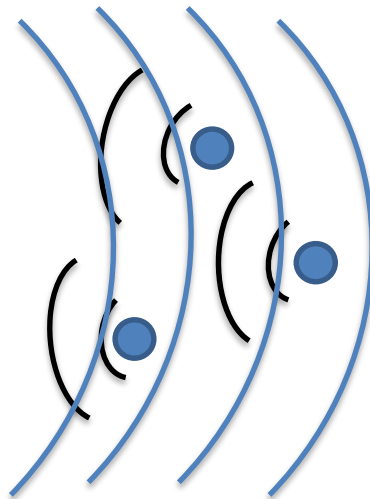
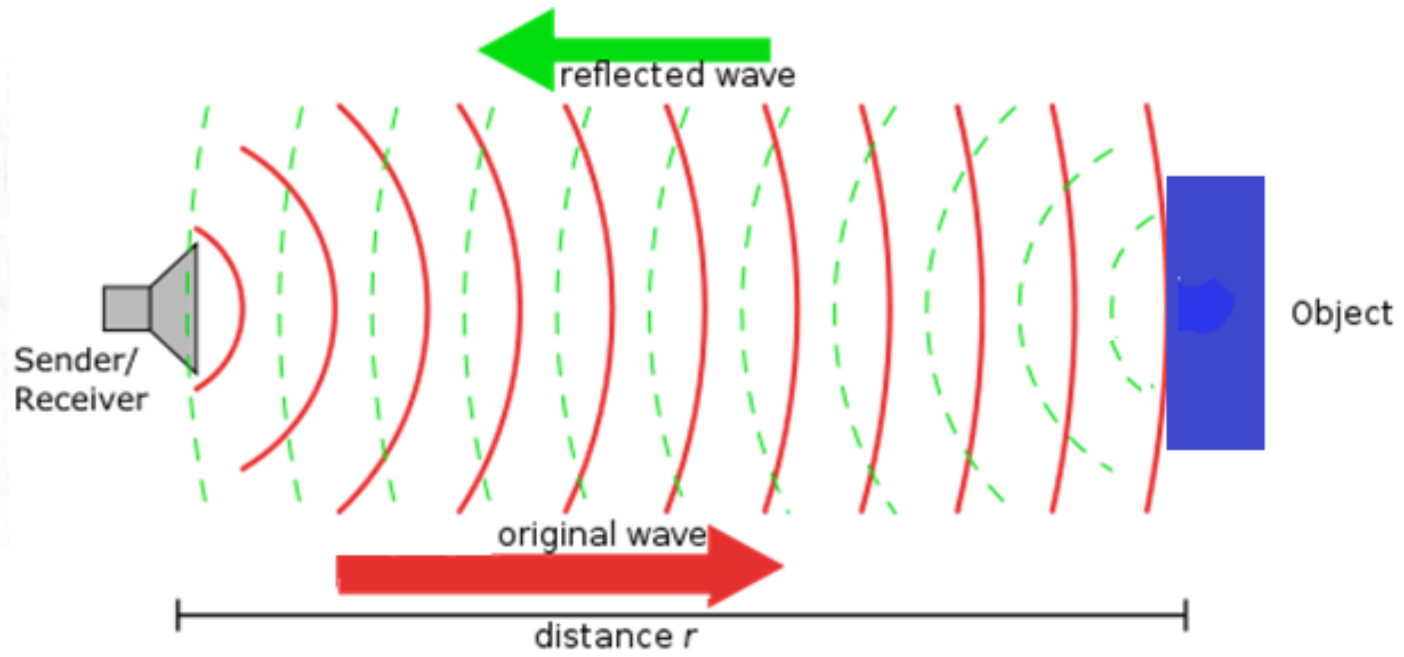
Materia condensada

Sistema cuyo número de constituyentes a nivel atómico o molecular es muy elevado y cuyas interacciones son muy fuertes.

Se estudia a través del comportamiento de sus propiedades macroscópicas. Estas propiedades macroscópicas se relacionan con las propiedades a nivel molecular.

Ultrasonido

- Onda mecánica
- Frecuencia superior a 20kHz



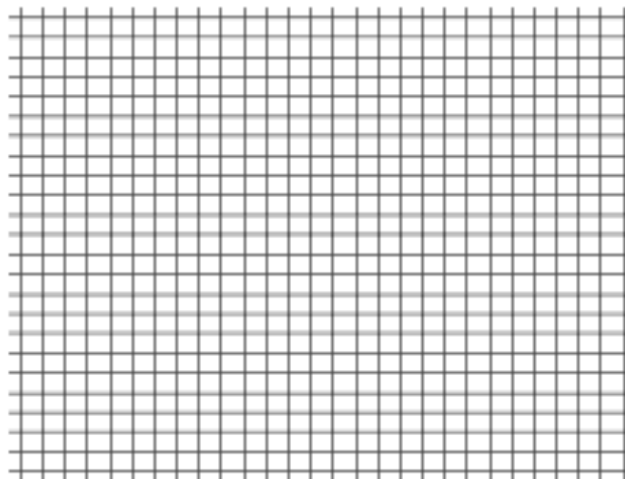
Ondas en sólidos

Longitudinales

Cizalla

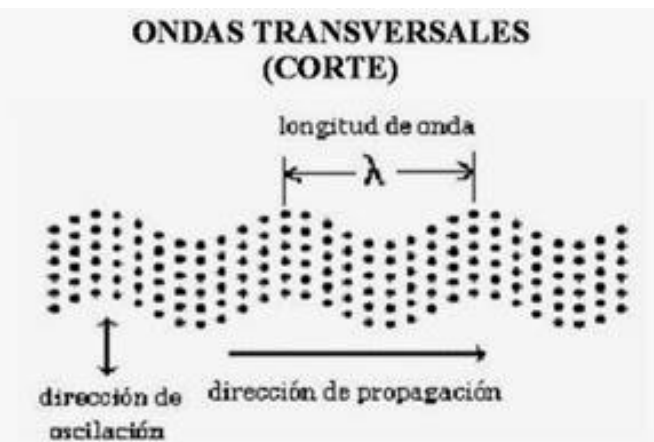
Rayleigh

Lamb

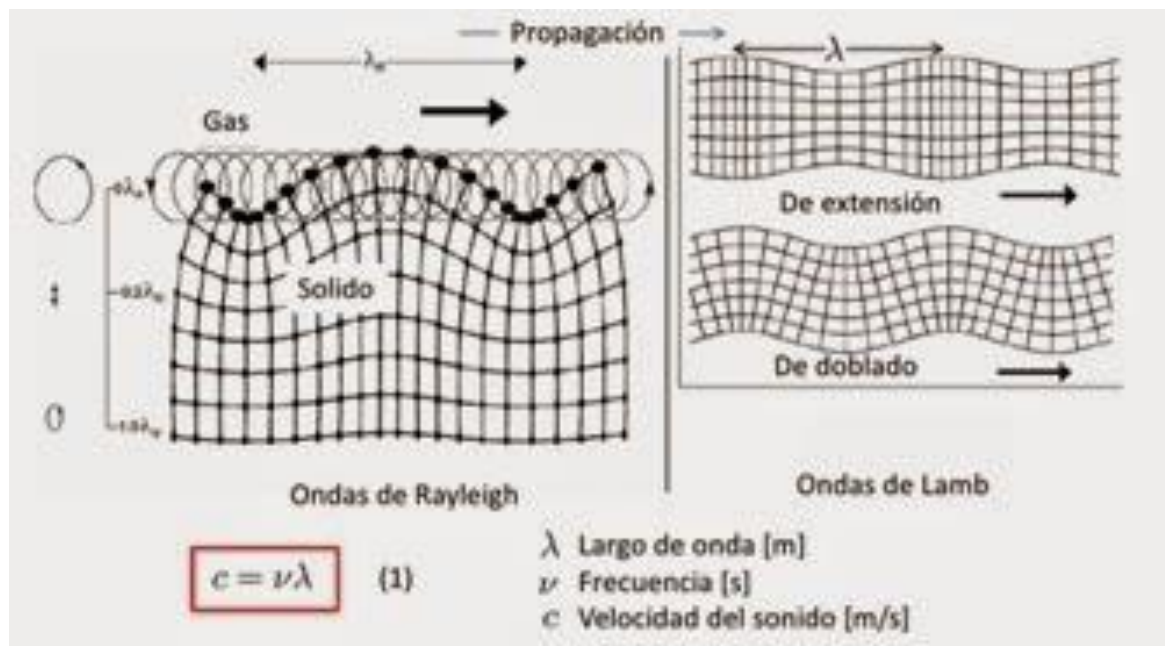


Velocidad de propagación
media en los tejidos
(longitudinales) : $c = 1540\text{m/s}$

$$v_P = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}}$$



$$v_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\sigma)}}$$



$$c = \nu\lambda \quad (1)$$

λ Largo de onda [m]
 ν Frecuencia [s]
 c Velocidad del sonido [m/s]

Impedancia Acústica para Onda Longitudinal

Z: Parámetro característico de cada material

$$Z = \rho \cdot c$$

ρ : densidad

c depende del tejido (VP)

$$p = Z \cdot v$$

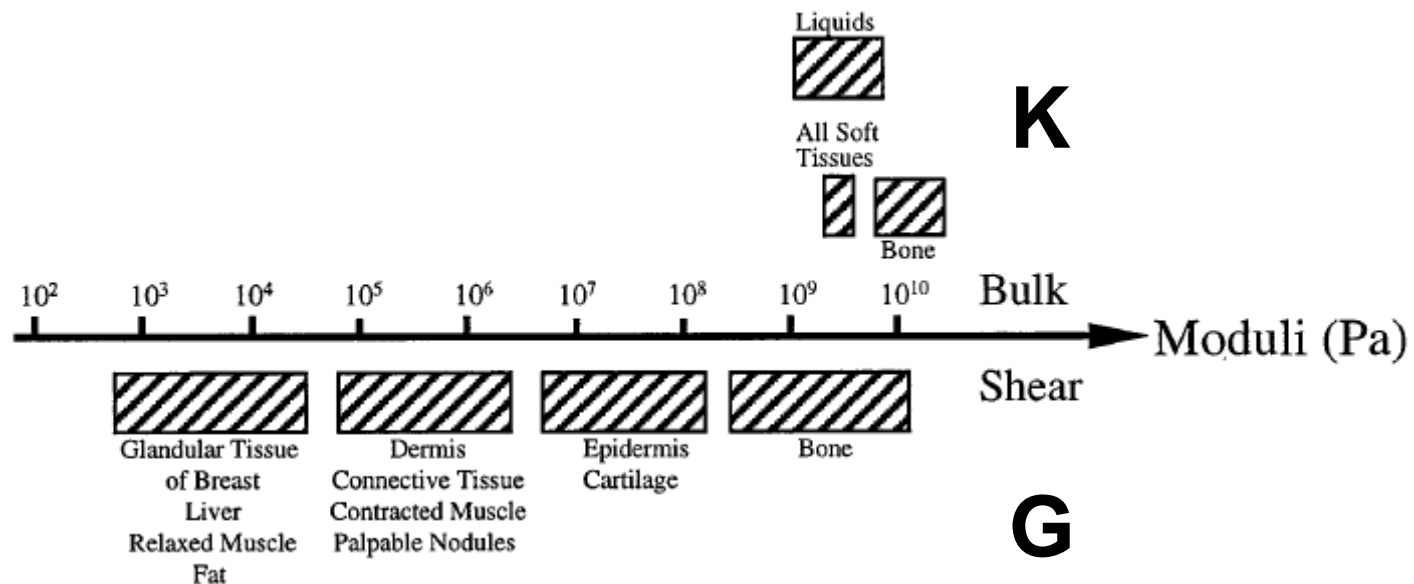
(Análogo a la ley de Ohm)

p : presión

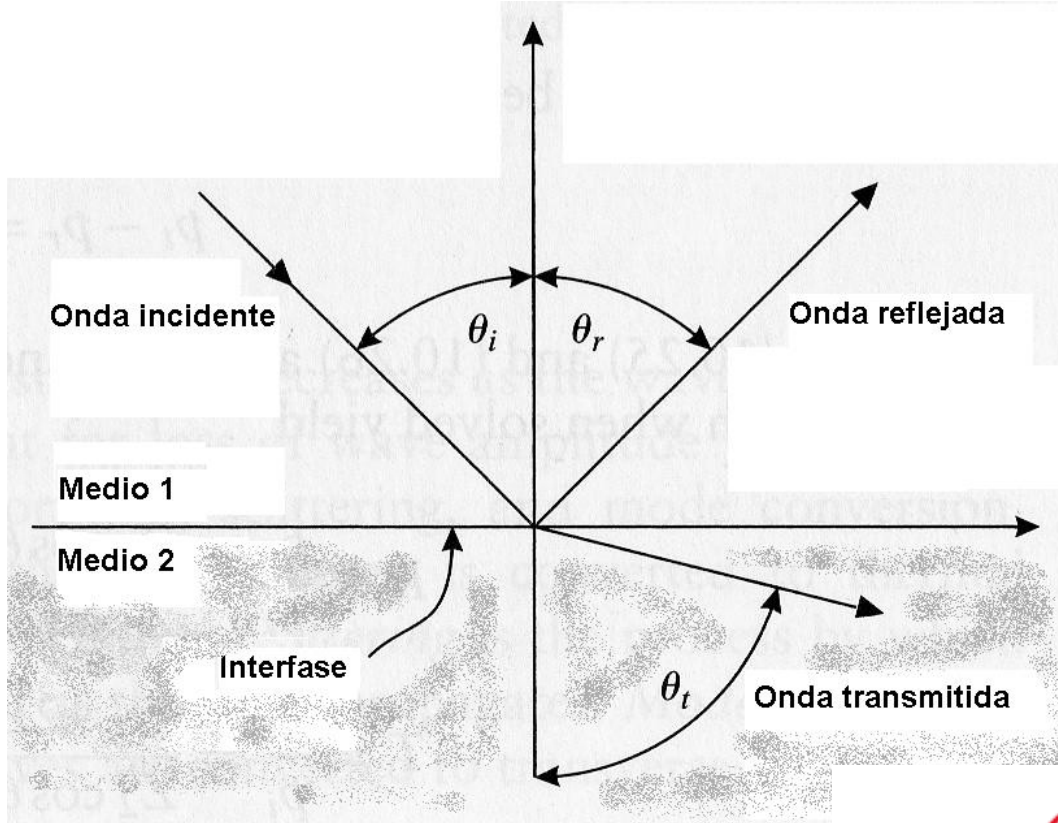
v : velocidad de las partículas

Z : impedancia

Material	Velocity ms^{-1}	Density kgm^{-3}	Acoustic Impedance $10^6 \text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$
Steel	7900	5800	45.8
Bone	3760	1990	7.48
Skin	1537	1100	1.69
Muscle	1580	1041	1.64
Fat	1476	928	1.36
Blood	1584	1060	1.68
Water	993	1527	1.52
Air	330	1.2	0.0004

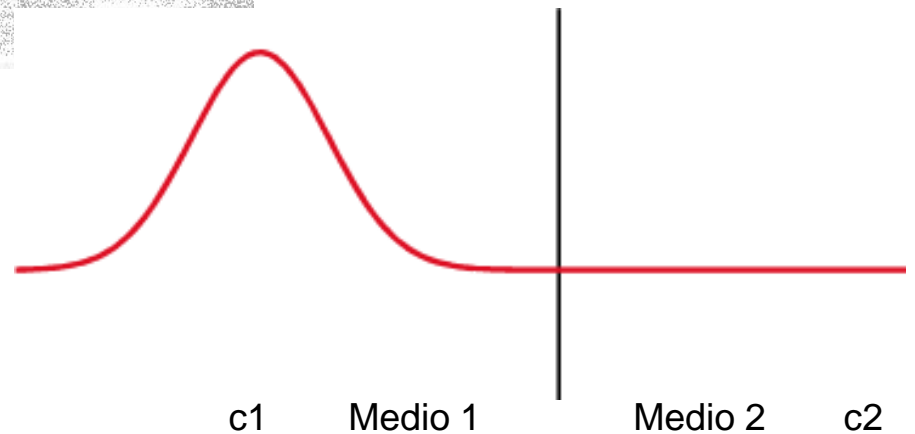


Interacción del ultrasonido con los tejidos



Reflectividad
para onda
de presión

$$\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$



Atenuación

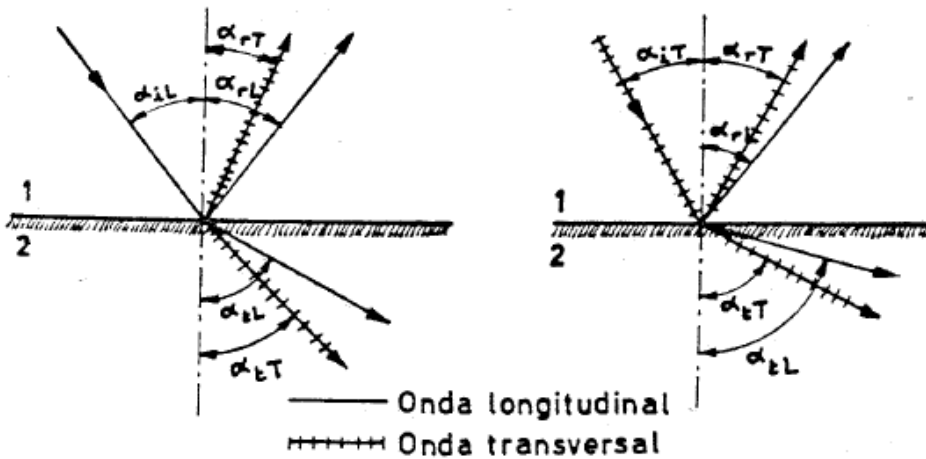
Decaimiento exponencial de la amplitud de la onda

-Pérdida de energía de la onda

- Interacción con el medio:
 reflexión
 refracción
 absorción

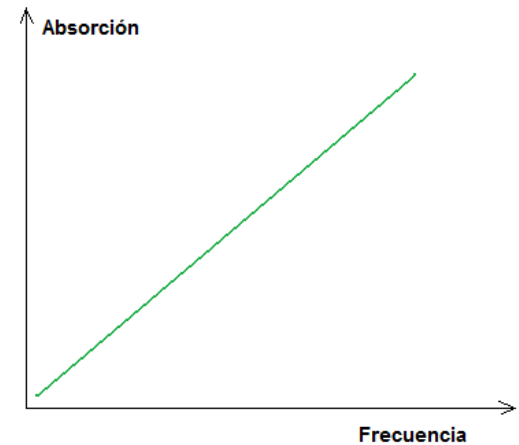
-Conversión de modos

Material	Atenuación [dB/(cm.MHz)]
Hueso	20
Músculo cardíaco	1,8
Riñón	1
Grasa	0,63
Sangre	0,18

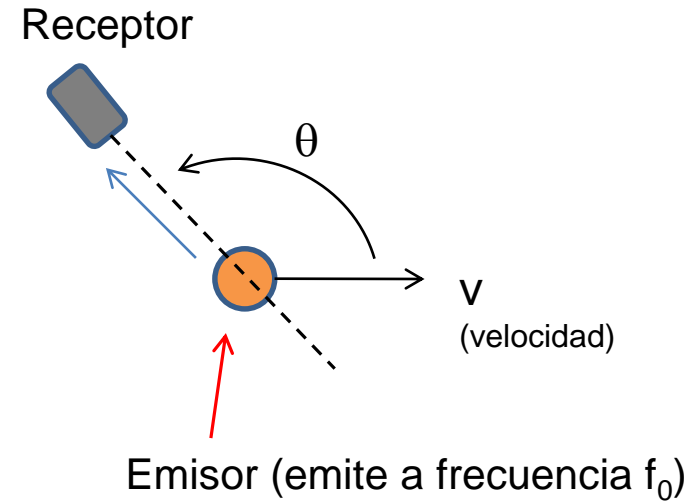
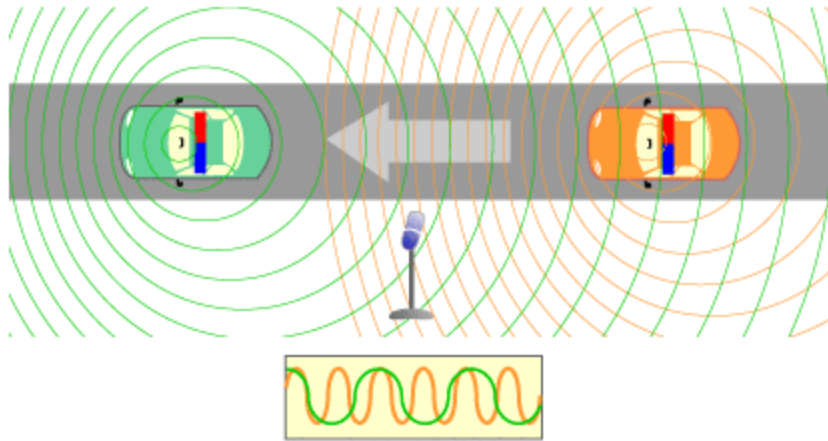


(a) Onda incidente longitudinal (b) Onda incidente transversal

Valor de referencia (ida y vuelta) :
 1 dB/cm por MHz



Efecto Doppler – señal recibida desde un emisor en movimiento



Corrimiento Doppler

$$\Delta f_D \approx \frac{v \cdot \cos \theta}{c} f_0$$

Δf_D = **corrimiento** respecto a f_0 registrado por el receptor

c = velocidad de propagación en el medio

Frecuencia percibida = $f_0 + \Delta f_D$

Si v es cero, la frecuencia percibida es f_0

Efecto Doppler – señal recibida debida al eco de un blanco móvil (ej. elemento forme de la sangre)

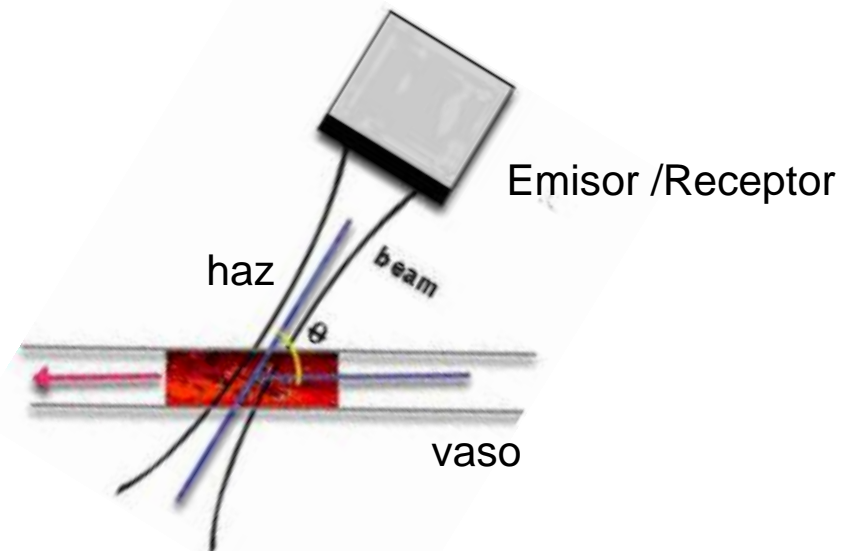
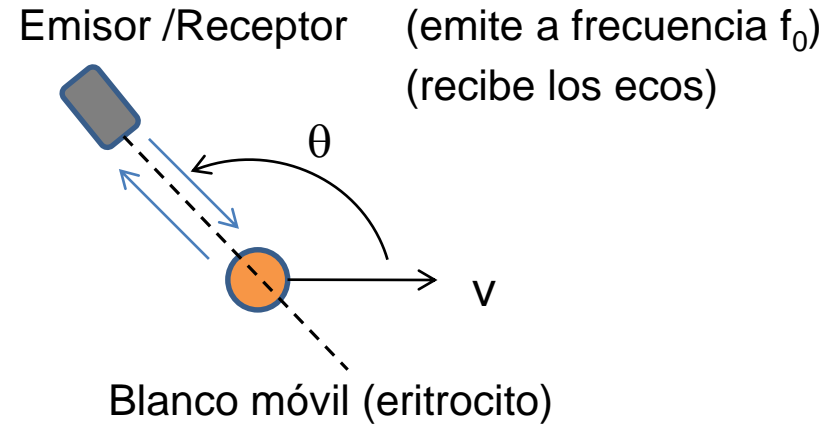
Corrimiento Doppler debido a blanco móvil

$$\Delta f_D \approx \frac{2 \cdot v \cdot \cos \theta}{c} f_0$$

Δf_D = **corrimiento** respecto a f_0 registrado por el receptor

c = velocidad de propagación en el medio

Frecuencia percibida = $f_0 + \Delta f_D$



Bibliografía

F. Blatt, “Fundamentos de Física”, Prentice-Hall, Mexico, 1991.

B. Mahan, R. Myers, “Química”, Addison Wesley Iberoamericana, 1990.

J. Prince, J. Links, “Medical Imaging: Signals and Systems”, Pearson, 2006.

B. Ivanov, “Contemporary Physics: a review of basic principles”, Mir, 1966.

P. Frank, “Foundations of Physics”, The Univ. of Chicago Press, 1969.

National Institute of Standards and Technology <http://www.nist.gov/>



Fin de la presentación

dsuarez@fisica.edu.uy

diego.suarez07@gmail.com