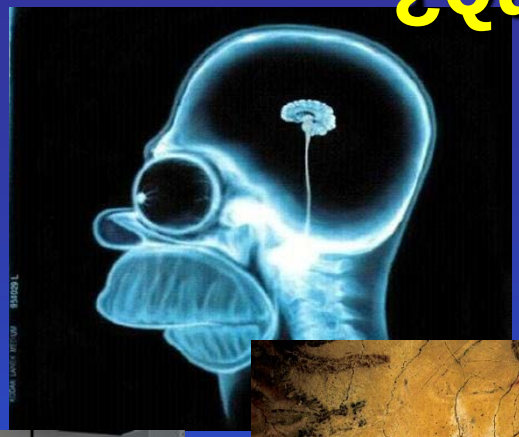
JORNADA SOBRE RADIACTIVIDAD NATURAL
Y TÉCNICAS DE MEDIDA, Valladolid, marzo 2019

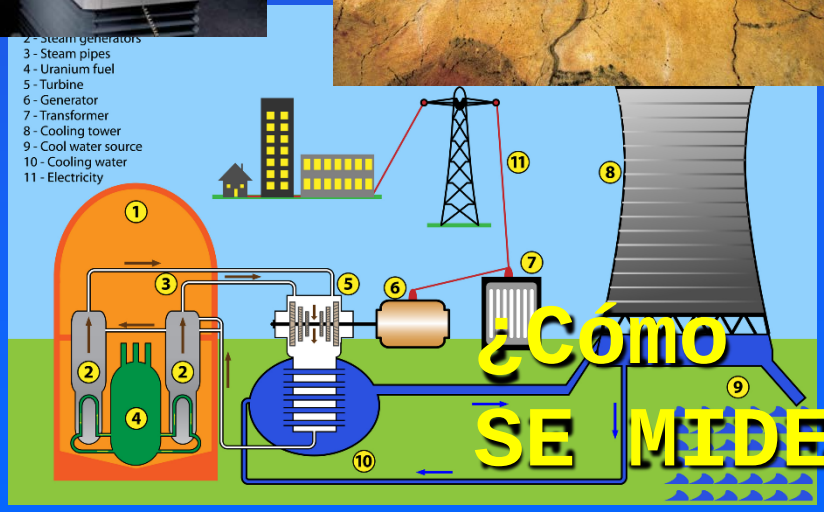
Fundamentos básicos de radiactividad

Carlos Sainz Fernandez
Cátedra de Física Médica
Universidad de Cantabria

¿Dónde ESTÁ?

¿Qué ES?





¿Qué EFECTOS NOS PRODUCE?

¿Cómo SE MIDE?

FUENTE RADIACIÓN
(sólida, líquida, gaseosa)

↓

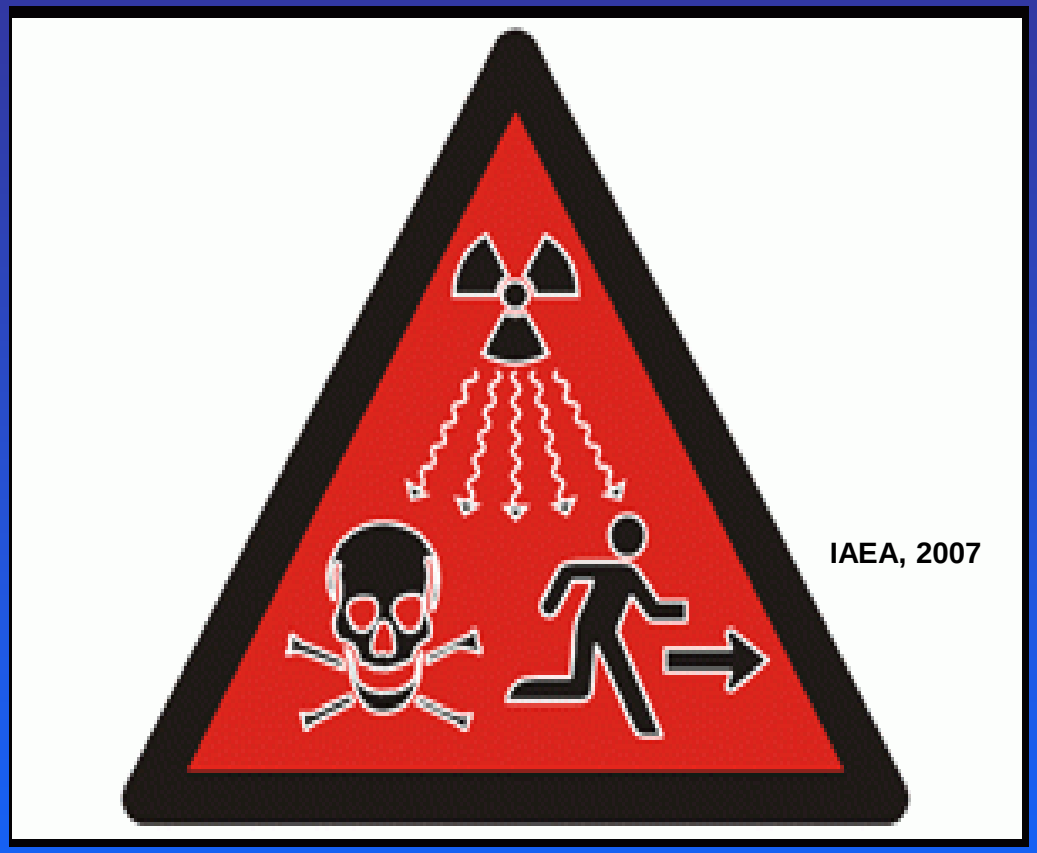
RADIACIÓN

↓

INTERACCIÓN IRRADIACIÓN/ CONTAMINACIÓN

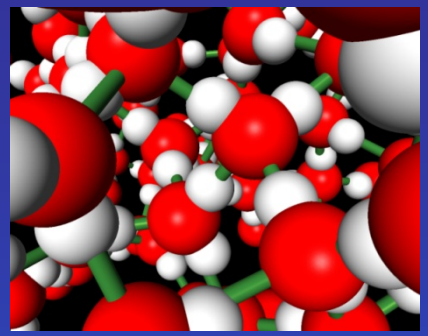
↓

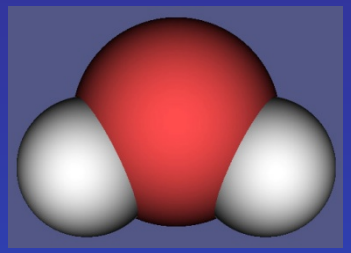
EFECTOS SALUD

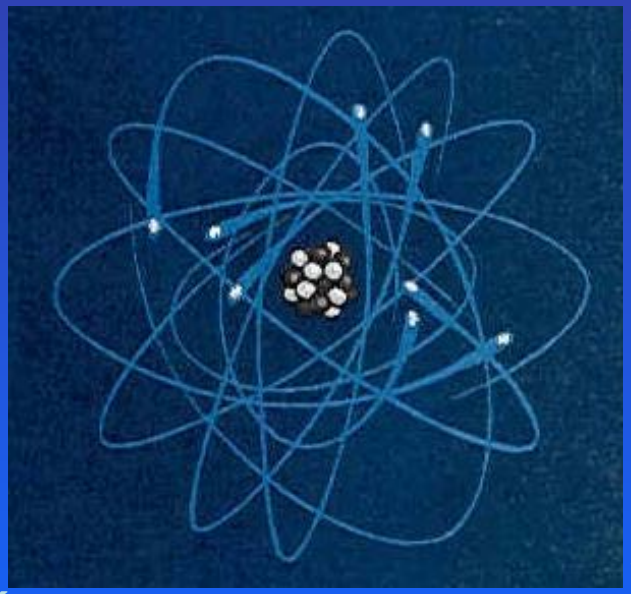


IAEA, 2007

FUENTES DE RADIACIÓN







10^{-10} m

Q = 0

ELECTRÓN

m = 9.11 10^{-31} kg

q = - 1.6 10^{-19} c

PROTÓN

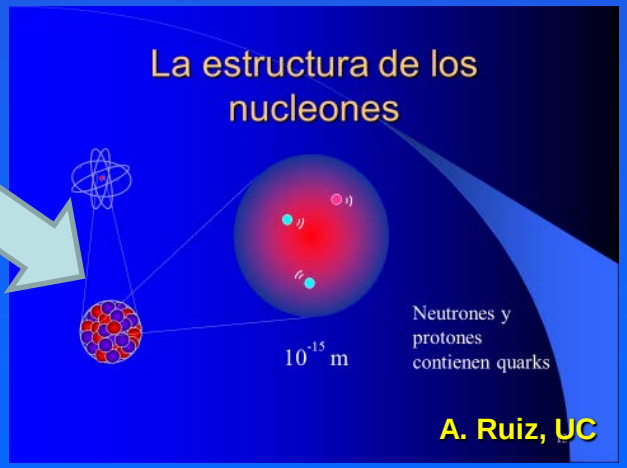
m = 1.67 10^{-27} kg

q = 1.6 10^{-19} c = - q_e

NEUTRÓN

m = 1.67 10^{-27} kg

q = 0



$$m_p \approx m_n \approx 1836 \cdot m_e$$

Estructura de la materia

NÚMERO ATÓMICO (Z) → Comportamiento químico

Nº PROTONES

NÚMERO MÁSICO (A)

Nº PROTONES + Nº NEUTRONES

$$^{A}_{Z}X$$

Nomenclatura nuclear

NÚMERO NEUTRONES (N)

N = A - Z

Tipos de nucleidos

Isótopos (Igual Z, diferente A) $^{1}_{1}H, ^{2}_{1}H, ^{3}_{1}H$

Isótonos (Igual N, diferente Z) $^{13}_{6}C, ^{14}_{7}N$

Isóbaros (Igual A, diferente N y Z) $^{14}_{6}C, ^{14}_{7}N$

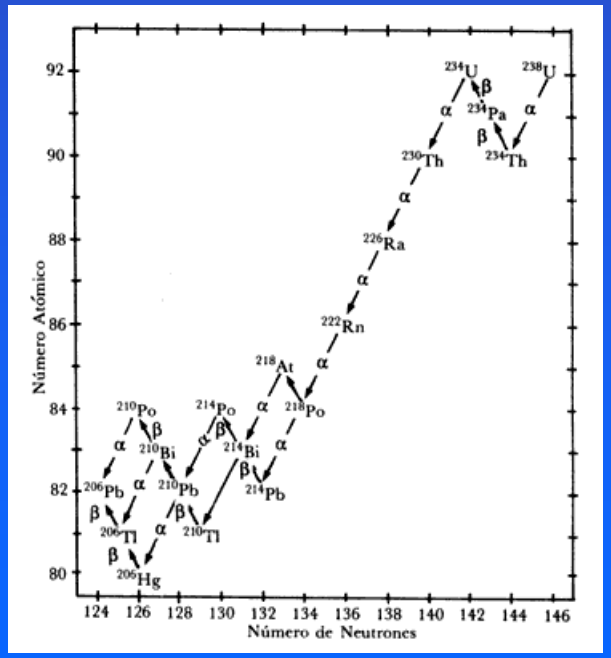
RADIACTIVIDAD NATURAL

Elementos con Z > 82 (Pb)
núcleos inestables

Transformación nuclear espontánea
Desintegración radiactiva
Emisión de radiación

Elementos radiactivos
radioisótopos o
radionucleidos

α, β, γ



Series radiactivas naturales

Uranio $^{238}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{206}_{82}\mathrm{Pb}$ (estable)

Actinio $^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{207}_{82}\mathrm{Pb}$ (estable)

Torio $^{232}_{92}\mathrm{Th} \rightarrow {}^{208}_{82}\mathrm{Pb}$ (estable)

ACTIVIDAD (A)

Número de desintegraciones nucleares espontáneas que tienen lugar en un radionucleido por unidad de tiempo.

Unidad antigua: Curio (Ci) (aprox. 1g Ra natural)

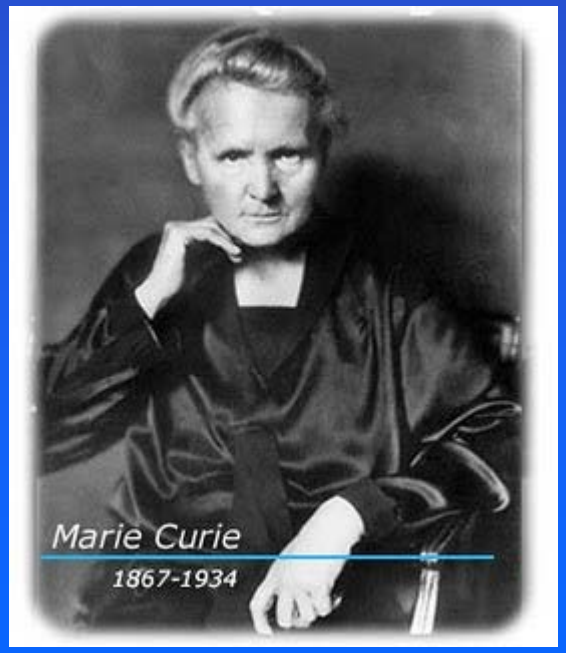
Unidad S.I.: Bequerelio (Bq)

1 Bq = 1 des/s

1 Ci = 3,7 10^{10} des/s = 37 GBq

1 mCi = 37 MBq

1 µCi = 37 KBq



Ley de la desintegración radiactiva

Número de núcleos radiactivos que se desintegran por segundo

$$\Delta N = \lambda \cdot N \quad \text{con} \quad \lambda(s^{-1})$$

Cte de desintegración (específica de cada radioisótopo)

$$T = \frac{0{,}693}{\lambda}$$

PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN

$$N = N_0\, e^{-\lambda t} \longleftrightarrow A = A_0\, e^{-\lambda t}$$

N_0 = nº de átomos radiactivos inicialmente presentes

N = nº de átomos radiactivos presentes al cabo de un tiempo t

λ = Constante de desintegración

***Actividad* A: nº de desintegraciones por segundo que se producen en la sustancia considerada**

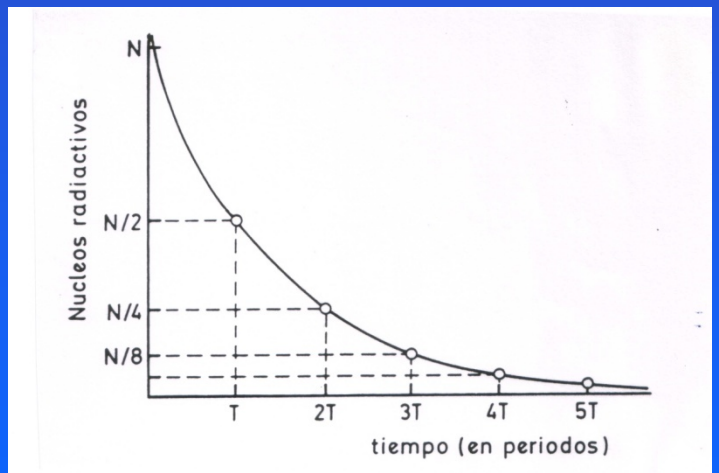
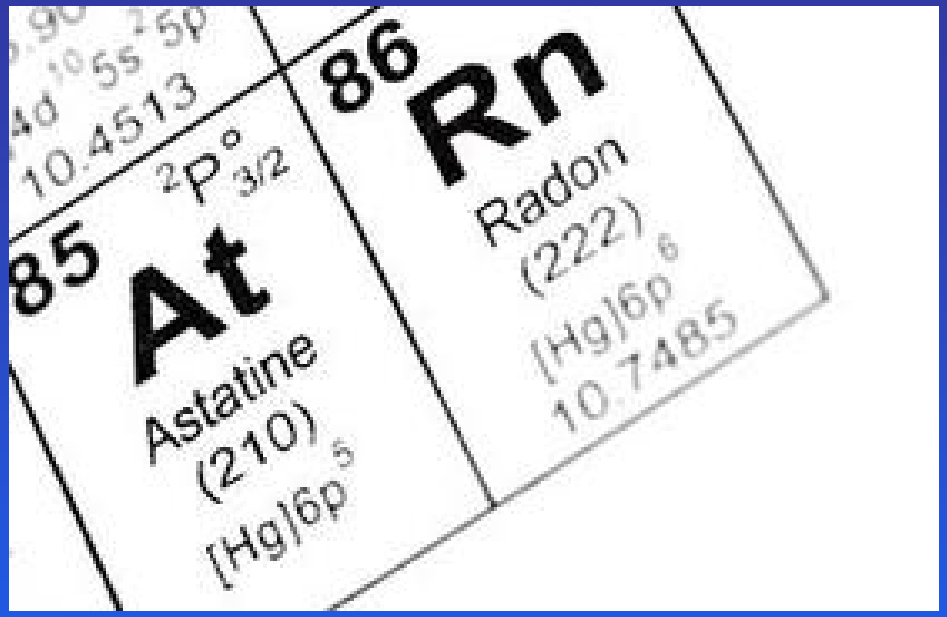


Fig. 4.4. Decrecimiento por desintegración de un radisótopo.

RADON



^{222}Rn

GAS NOBLE RADIACTIVO

$T_{1/2}$ = 3.82 d

Emisor alfa (5.49 MeV)

Posibilidad de desplazamiento macroscópico

RADIACTIVIDAD ARTIFICIAL

Elementos radiactivos procedentes de reacciones nucleares provocadas por el hombre

Partículas nucleares
α, n, p, iones : E >>

Bombardeo → **Núcleo estable** → **Isótopo radiactivo artificial**

$$^{14}_{7}\mathrm{N} + ^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{17}_{8}\mathrm{O} + ^{1}_{1}p$$

1ª reacción (Rutherford, 1919)
(alfas de ^{214}Po)

$$^{9}_{4}\mathrm{Be} + ^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{12}_{6}\mathrm{C} + ^{1}_{0}n$$

Fuente de neutrones
(alfas de ^{226}Ra)

$$^{12}_{6}\mathrm{C} + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{13}_{7}\mathrm{N} + ^{1}_{0}n$$

Iones acelerados

β^+

$$^{1}_{1}p \rightarrow ^{1}_{0}\mathrm{n} + ^{0}_{+1}\beta$$

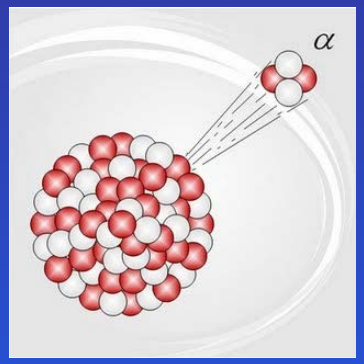
CE

$$^{1}_{1}p + ^{0}_{-1}\mathrm{e} \rightarrow ^{1}_{0}\mathrm{n}$$

RX

RADIACIÓN IONIZANTE

Desintegración α



Núcleos de Helio
Z = 2 ; A = 4

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha$$

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}\alpha$$

$$^{226}_{86}Ra \rightarrow {}^{222}_{84}Rn + {}^{4}_{2}\alpha$$

Energías bien definidas

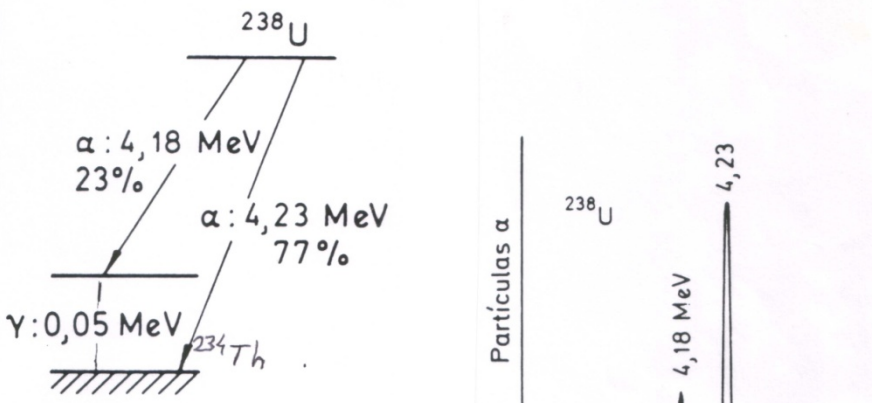


Fig. 4.1. Esquema de desintegración del uranio-238.

Partículas α

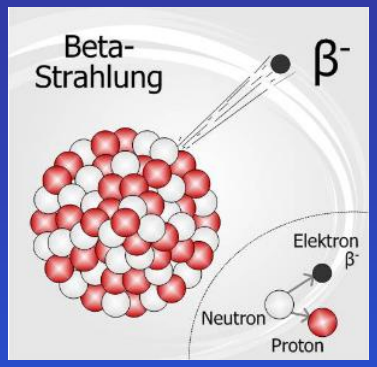
ALTA LET
trayectorias
rectas y cortas

ALCANCE
cm en aire
µm en agua

¿BLINDAJE?

IRRADIACIÓN / CONTAMINACIÓN

Desintegración β



Electrones nucleares

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}\beta $$

$$ {}^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{60}_{28}Ni + {}^{0}_{-1}\beta $$

$$ {}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}\beta $$

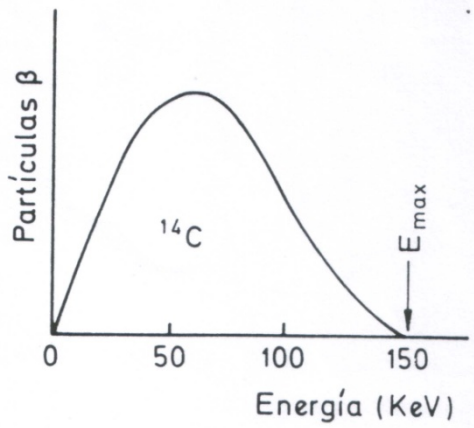


Fig. 4.3. Espectro energético de las partículas β del carbono-14

Espectro energético continuo

Partículas β

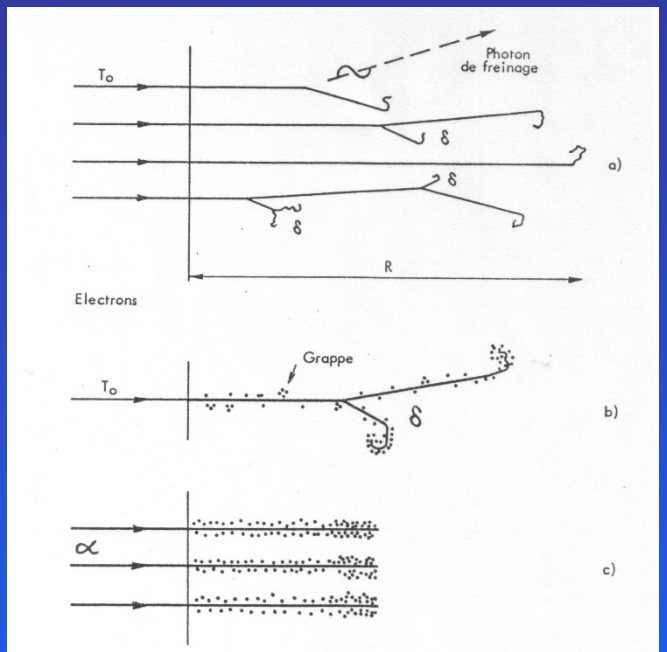


FIG. 12. — *Trajectoires des électrons dans un milieu*

a) aspect général des trajectoires,
b) distribution des ionisations produites dans le milieu,
c) pour comparaison — Trajectoires de particules α.

(La densité des ionisations est beaucoup plus élevée que ne le représente la figure et la longueur de la trajectoire des α est considérablement plus courte que celle des électrons).

$LET_\beta << LET_\alpha$

100 pares/cm vs 30000 pares/cm

trayectorias sinuosas

ALCANCE

variable

m en aire

cm en agua

¿Blindaje de plomo?

$$\frac{B}{E} = \frac{Z \cdot E}{800 + Z}$$

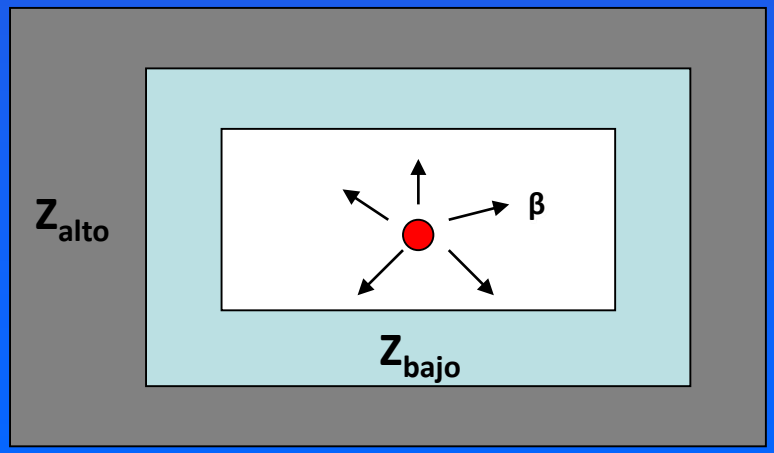
Pérdidas por radiación de frenado

¡¡¡ EMISIÓN RX !!!

E_{max}= 2 MeV

0.7 % en plástico

7 % en plomo



¿β^+?

Rayos γ

E (keV-MeV)

Mas energéticos y penetrantes que los rayos X
Procedentes del NÚCLEO

Núcleo excitado
$E > E_0$

Emisión **γ**

Núcleo estable
E_0

$E_{foton} = E - E0$

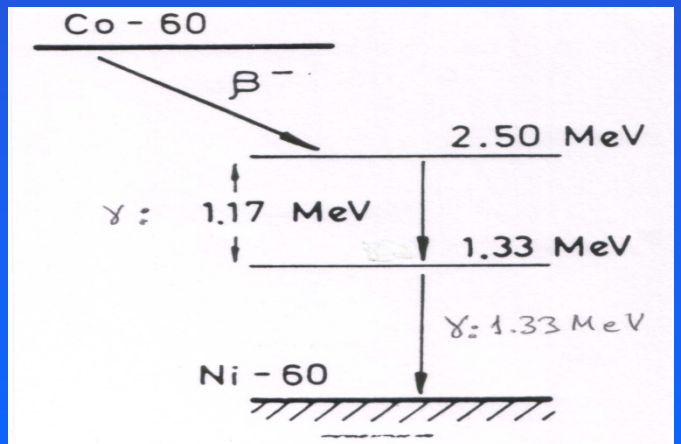
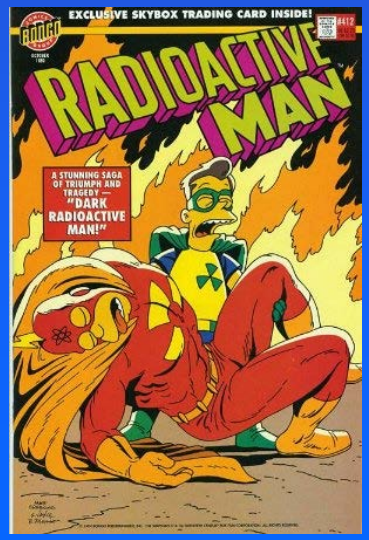
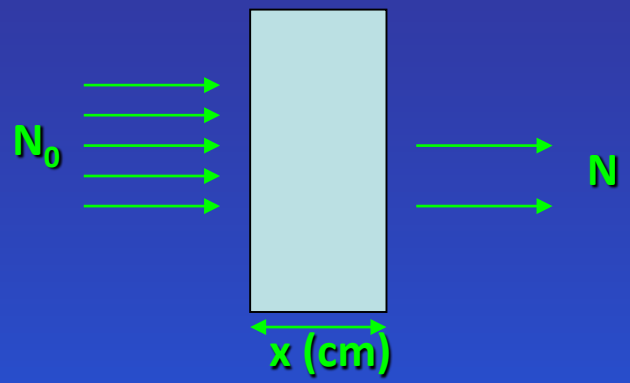


Fig. 3.6. Esquema de desintegración del cobalto-60



Radiación γ

Atenuación



$$N = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

μ (cm^{-1}): coeficiente de atenuación lineal
(depende del estado de agregación del absorbente)

$$\mu = \mu_{Foto} + \mu_{Comp} + \mu_{Pares}$$

Espesor de semireducción

$$X_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

$$N = N_0 \cdot e^{-\mu_m \cdot \rho \cdot x}$$

μ_m (cm^2/g) = μ/ρ : coeficiente de atenuación másico
(NO depende del estado de agregación del absorbente)

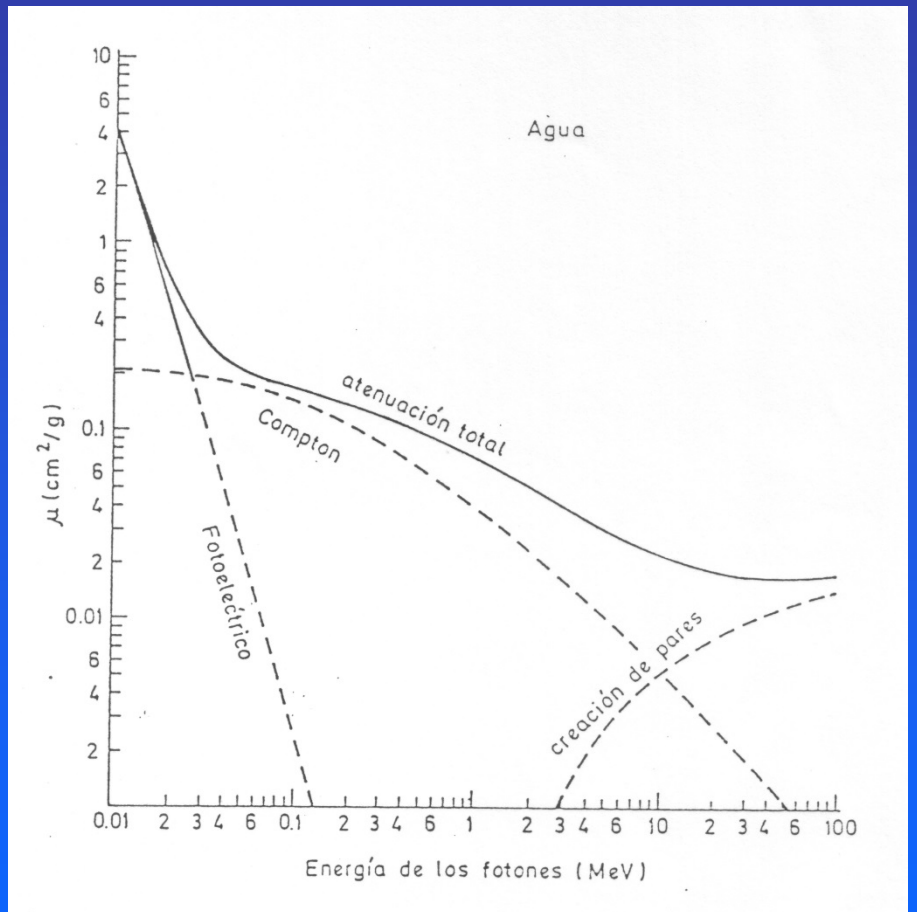


Fig. A.I.6.3.- Coeficientes de atenuación másicos para un haz de fotones en agua.

Radiación γ

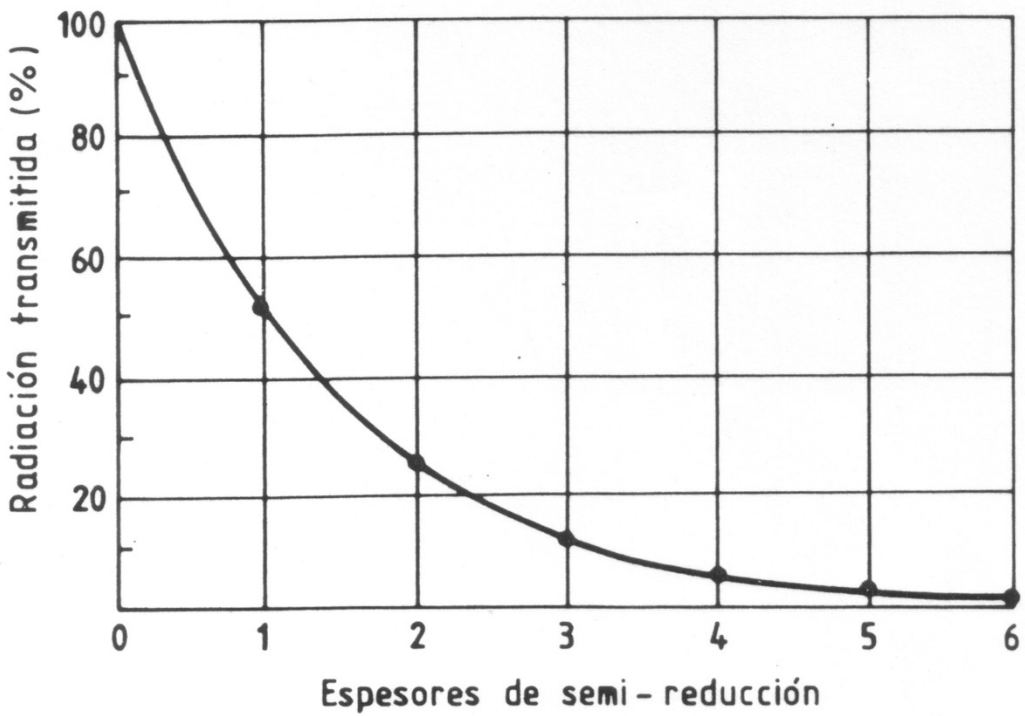
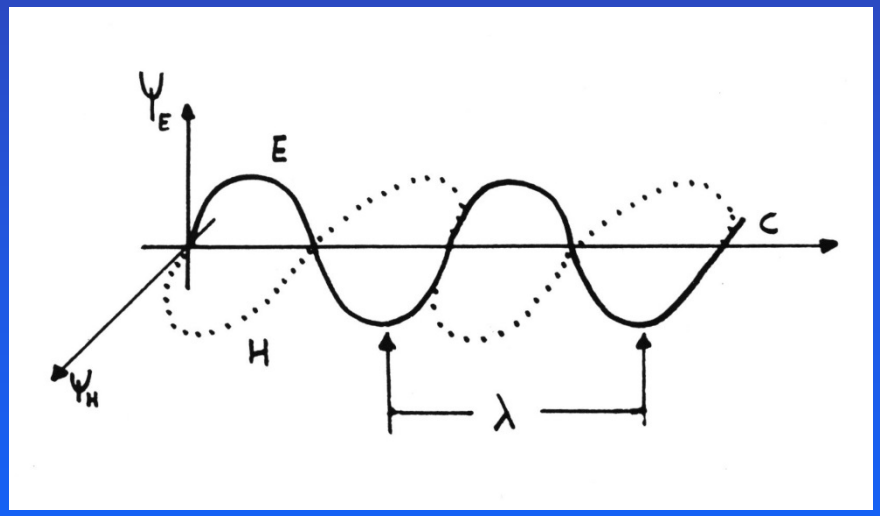


Fig. 5.5. Atenuación de radiación X o gamma por materia interpuesta.

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

q estática ---- campo eléctrico E
q móvil (cte) ---- campo E-M constante
q móvil (variable) ---- campo E-M variable



$$v = \lambda \cdot \varphi$$

λ: longitud de onda (m)
ϕ: frecuencia (Hz)

$v_{vacio} = c = 3\ 10^8$ m/s

$v_{medio} = c/n$

SE PRODUCE TANTO DENTRO COMO FUERA DEL NÚCLEO ATÓMICO

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

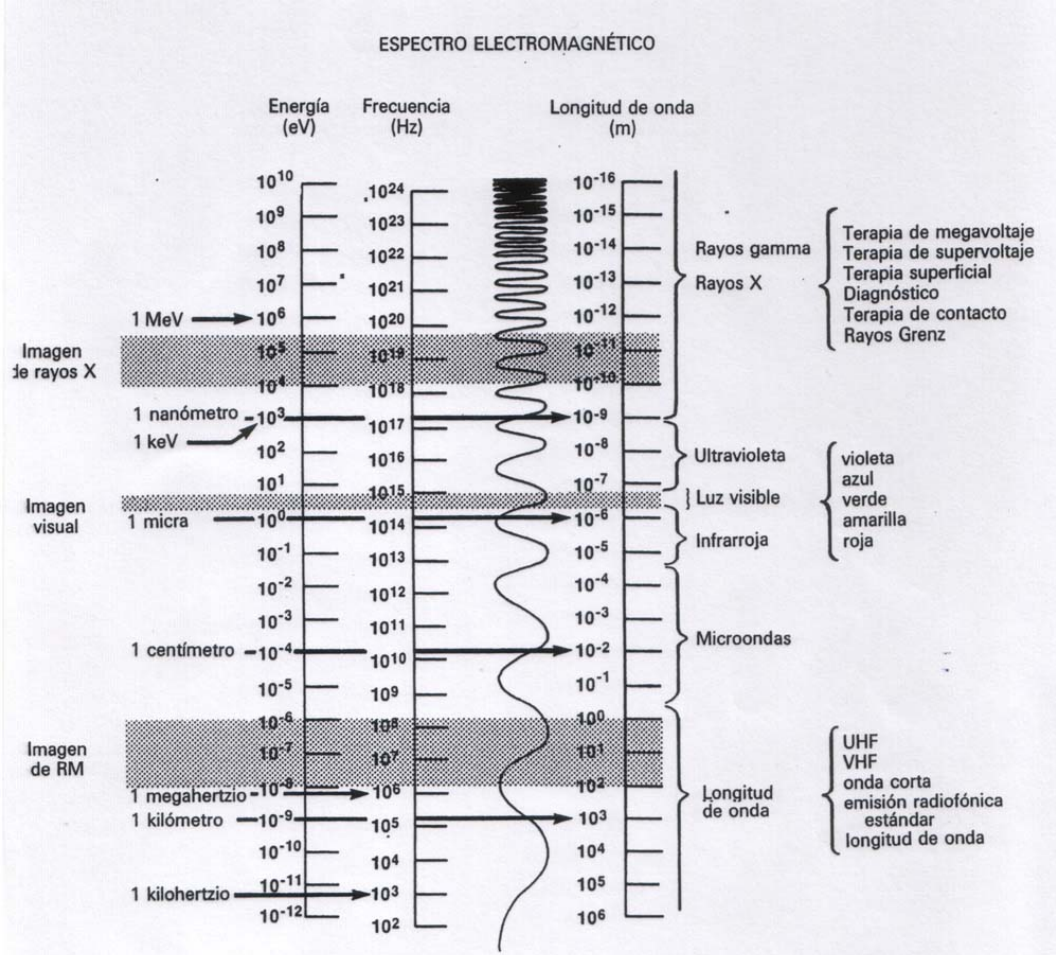


Fig. 4-6. El espectro electromagnético se extiende en más de 25 órdenes de magnitud. Esta gráfica muestra los valores de energía, frecuencia y longitud de onda, e identifica algunos valores y regiones comunes del espectro.

Planck, Einstein, 1900

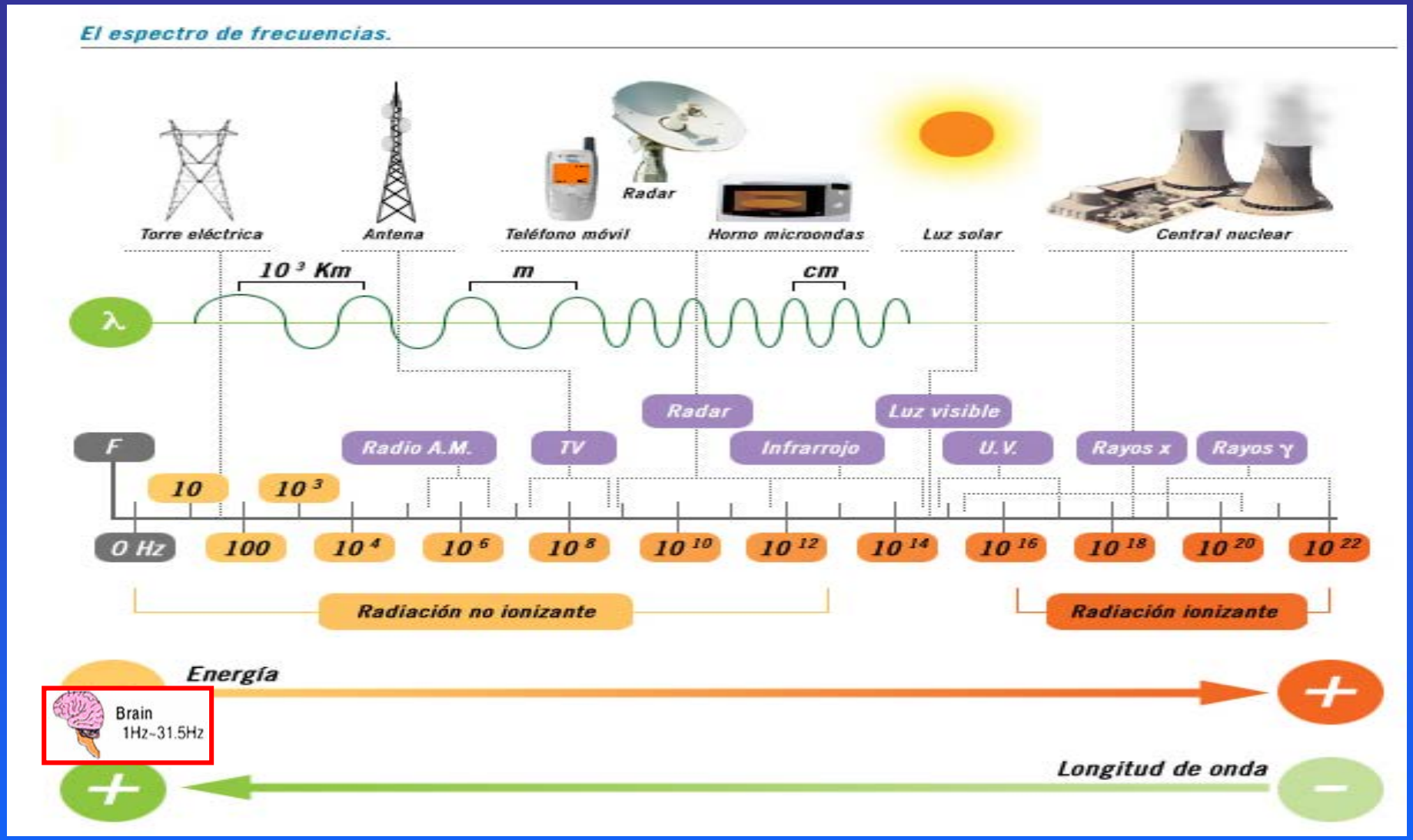
FOTÓN

m = 0

q = 0

$$E = h \cdot \varphi = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$h = 6.62\ 10^{-34}$ Jul/s



Planck, Einstein, 1900

FOTÓN

m = 0

q = 0

$$E = h \cdot \varphi = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

h = 6.62 10^{-34} Jul/s

Clasificación estándar de la IARC

Grupo 1: "carcinógeno para el ser humano" Hay pruebas suficientes que confirman que puede causar cáncer a los humanos.

Grupo 2A: "Probablemente carcinógeno para el ser humano" Hay pruebas suficientes de que puede causar cáncer a los humanos, pero actualmente no son concluyentes.

Grupo 2B: "Posiblemente carcinógeno para el ser humano" Hay algunas pruebas de que puede causar cáncer a los humanos pero de momento están lejos de ser concluyentes.

Grupo 3: "No puede ser clasificado respecto a su carcinogenicidad para el ser humano" Actualmente no hay ninguna prueba de que cause cáncer a los humanos.

Grupo 4: "Probablemente no carcinógeno para el ser humano" Hay pruebas suficientes sin relación causal de cáncer en humanos.

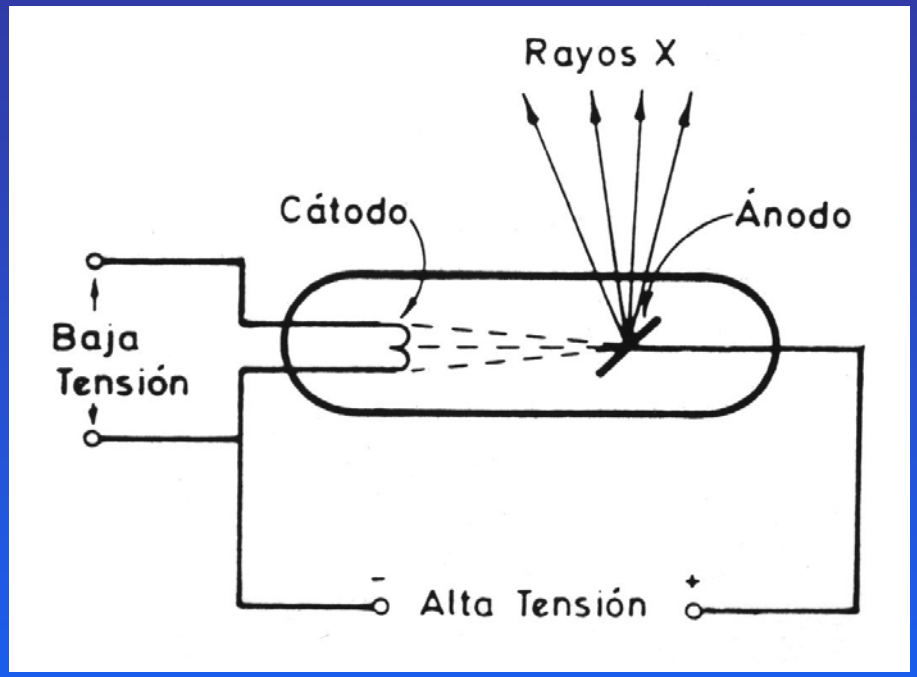
RNI

Grupo 2B: "Posiblemente carcinógeno para el ser humano" Evidencias epidemiológicas LIMITADAS, y evidencias INADECUADAS en animales

“LIMITADAS”: Se han observado correlaciones positivas entre la exposición al agente y el cáncer que llevan a considerar una relación causal, pero el azar y otros factores de confusión no pueden descartarse.

“INADECUADAS”: Los estudios disponibles son de insuficiente calidad, consistencia o poder estadístico como para permitir establecer una asociación causal entre exposición y cáncer. / Ausencia de datos referentes a cáncer en humanos

Rayos X



E del orden de keV
más penetrantes que la luz visible

RADIOGRAFÍAS

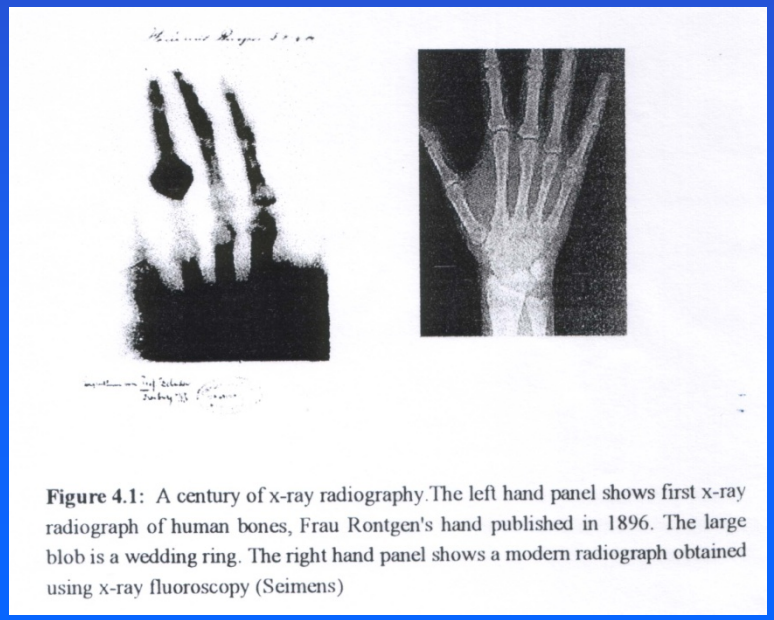
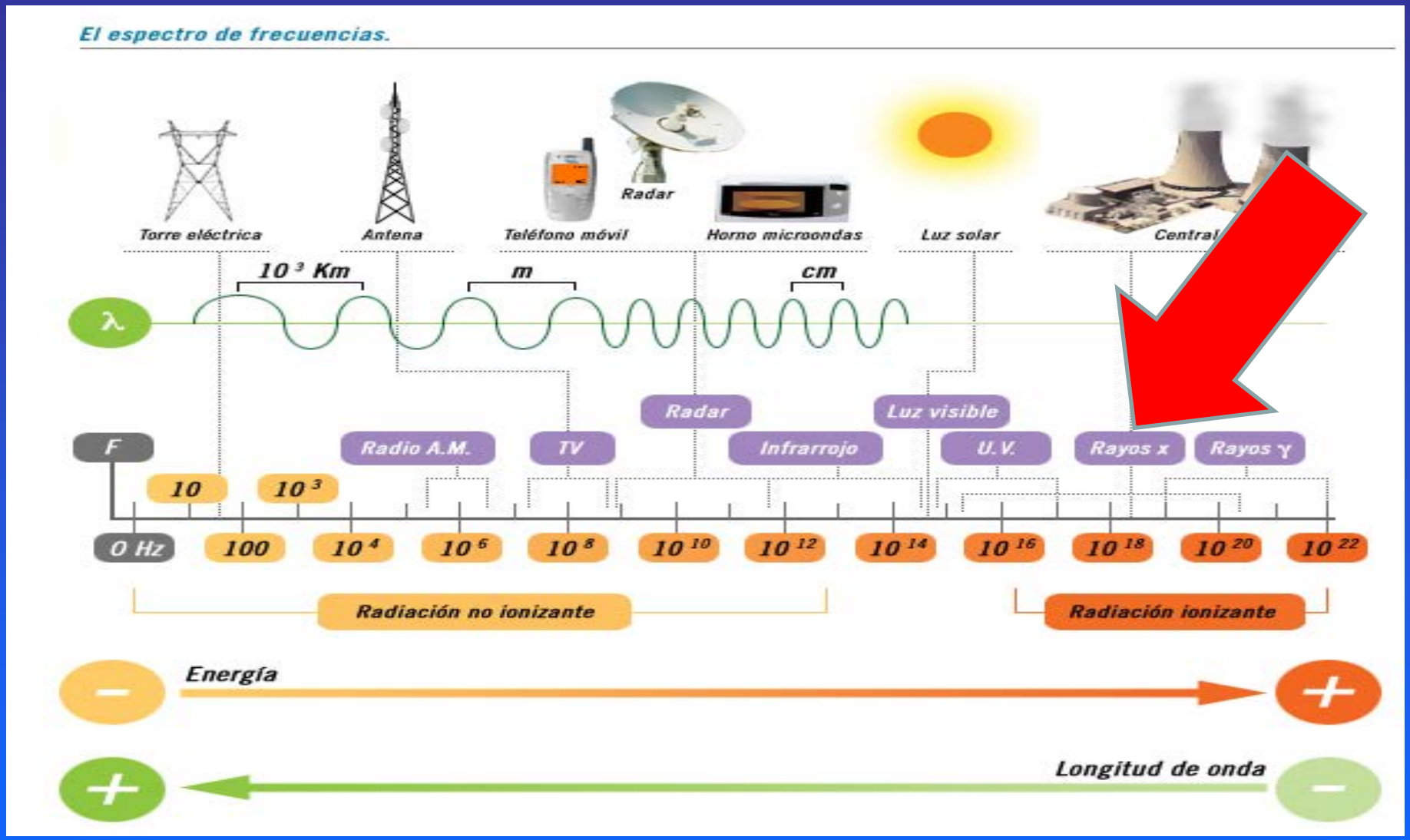


Figure 4.1: A century of x-ray radiography.The left hand panel shows first x-ray radiograph of human bones, Frau Rontgen's hand published in 1896. The large blob is a wedding ring. The right hand panel shows a modern radiograph obtained using x-ray fluoroscopy (Seimens)

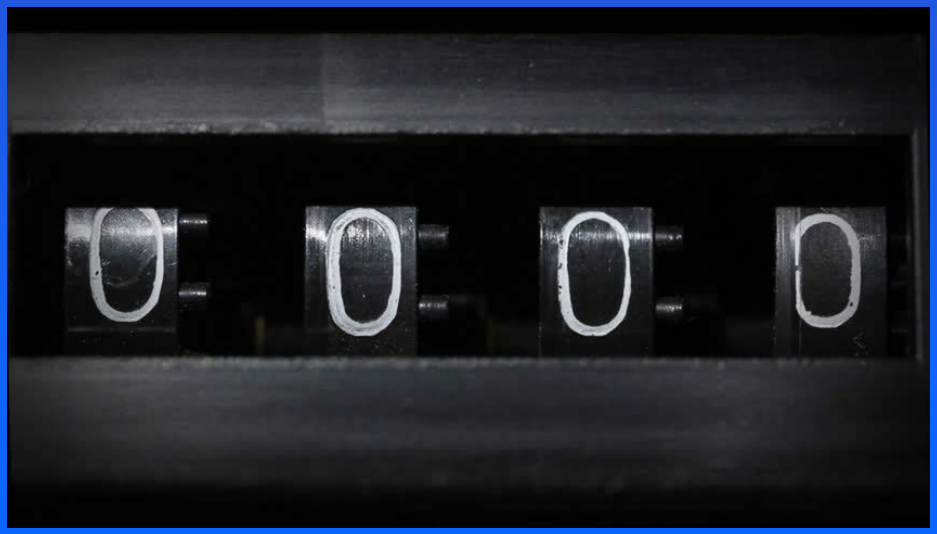
EMISIÓN RX

Frenado en el cátodo

Excitación líneas características


El espectro de frecuencias.
Torre eléctrica
Antena
Teléfono móvil
Radar
Horno microondas
Luz solar
Central
10 ³ Km
m
cm
λ
F
Radar
Luz visible
Radio A.M.
TV
Infrarrojo
U.V.
Rayos x
Rayos γ
10
10 ³
0 Hz
100
10 ⁴
10 ⁶
10 ⁸
10 ¹⁰
10 ¹²
10 ¹⁴
10 ¹⁶
10 ¹⁸
10 ²⁰
10 ²²
Radiación no ionizante
Radiación ionizante
Energía
Longitud de onda

INTERACCIÓN DOSIS, EFECTOS



DOSIS ABSORBIDA (Gray, Gy)

Energía media cedida por cualquier radiación ionizante a la materia por unidad de masa (jul/kg – Gy)

DOSIS EQUIVALENTE (Sievert, Sv)

Dosis absorbida ponderada por el diferente daño que cada tipo de radiación provoca (Wr, factores de ponderación de la radiación)

DOSIS EFECTIVA (Sievert, Sv)

Dosis equivalente ponderada en función de la sensibilidad al daño de los diferentes tejidos del organismo

Efectos deterministas

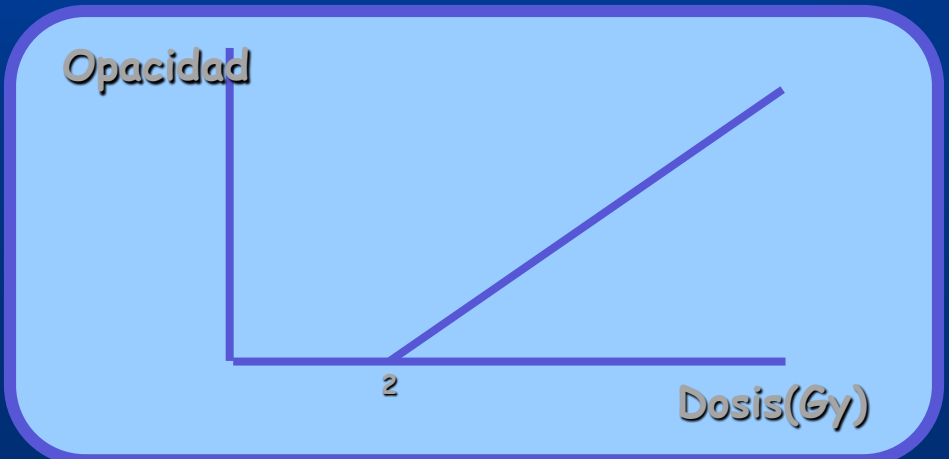
Lesión LETAL en muchas células

Naturaleza somática

Dosis umbral

Gravedad dependiente dosis

Relación dosis-efecto lineal



Efectos no deterministas

UC UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

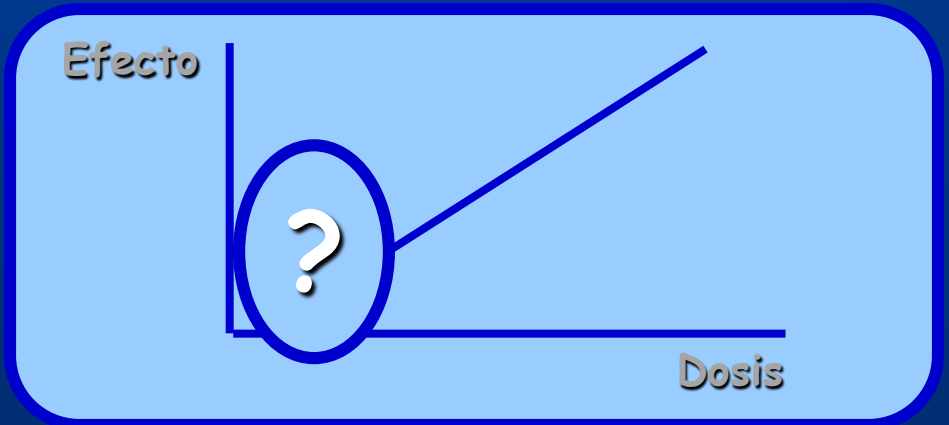
Lesión SUBLETAL en una o pocas células

Gravedad independiente de dosis

Naturaleza somática-hereditaria

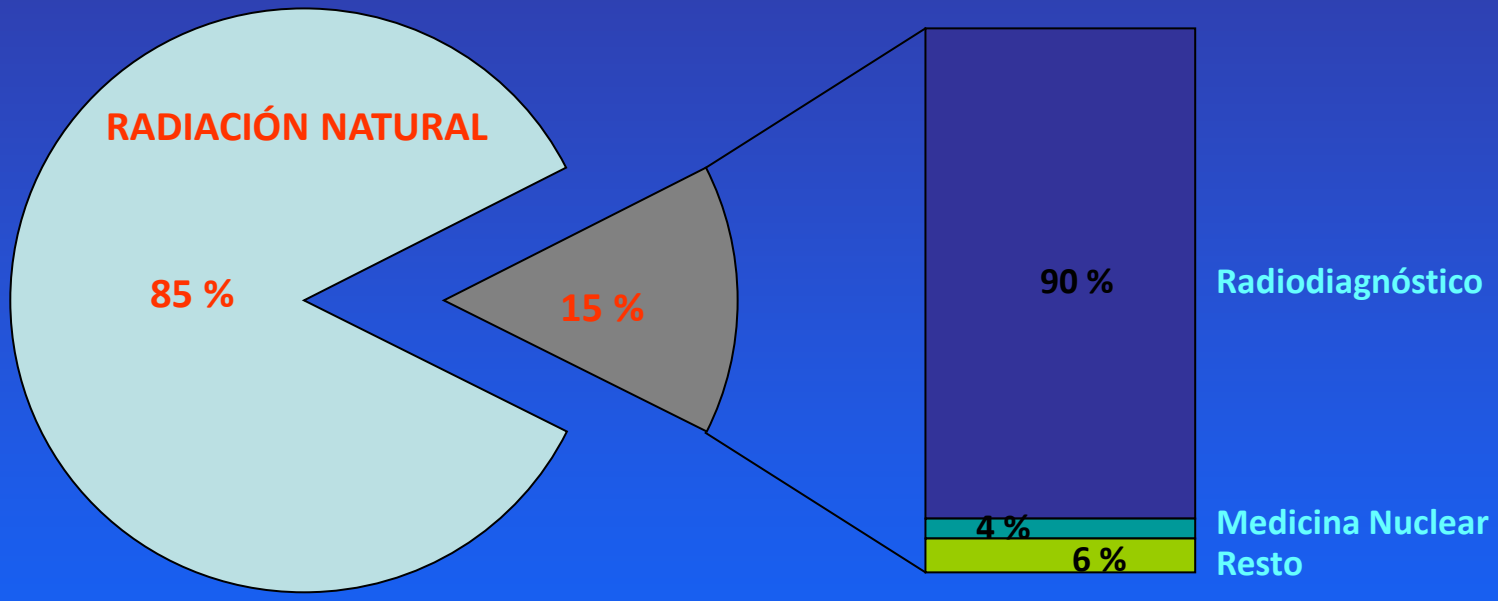
¿Relación dosis-efecto?

¿Dosis umbral?



DOSIS PROMEDIO RECIBIDAS POR LA POBLACIÓN

Actividades humanas

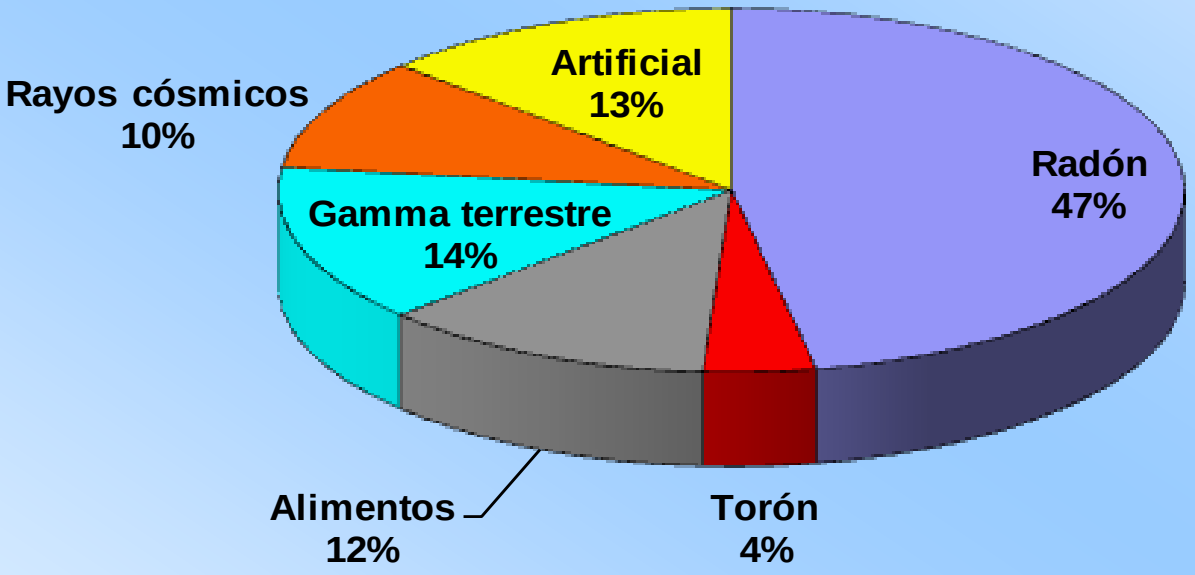


Resto

2 %	Lluvia radiactiva
1,4 %	Exposición profesional
0,1 %	Descargas centrales nucleares
2,5 %	Varios

UNSCEAR

Exposición promedio del hombre a fuentes naturales y artificiales



TOTAL (promedio UNSCEAR 2008): 3 mSv y^{-1} (2.4 + 0.6)

LIMITACIÓN

REAL DECRETO 1439/2010, de 5 de noviembre

TRABAJADORES PROFESIONALMENTE EXPUESTOS:

- Total organismo 100 mSv/5 años
- Cristalino 150 mSv/año
- Piel y extremidades 500mSv/año

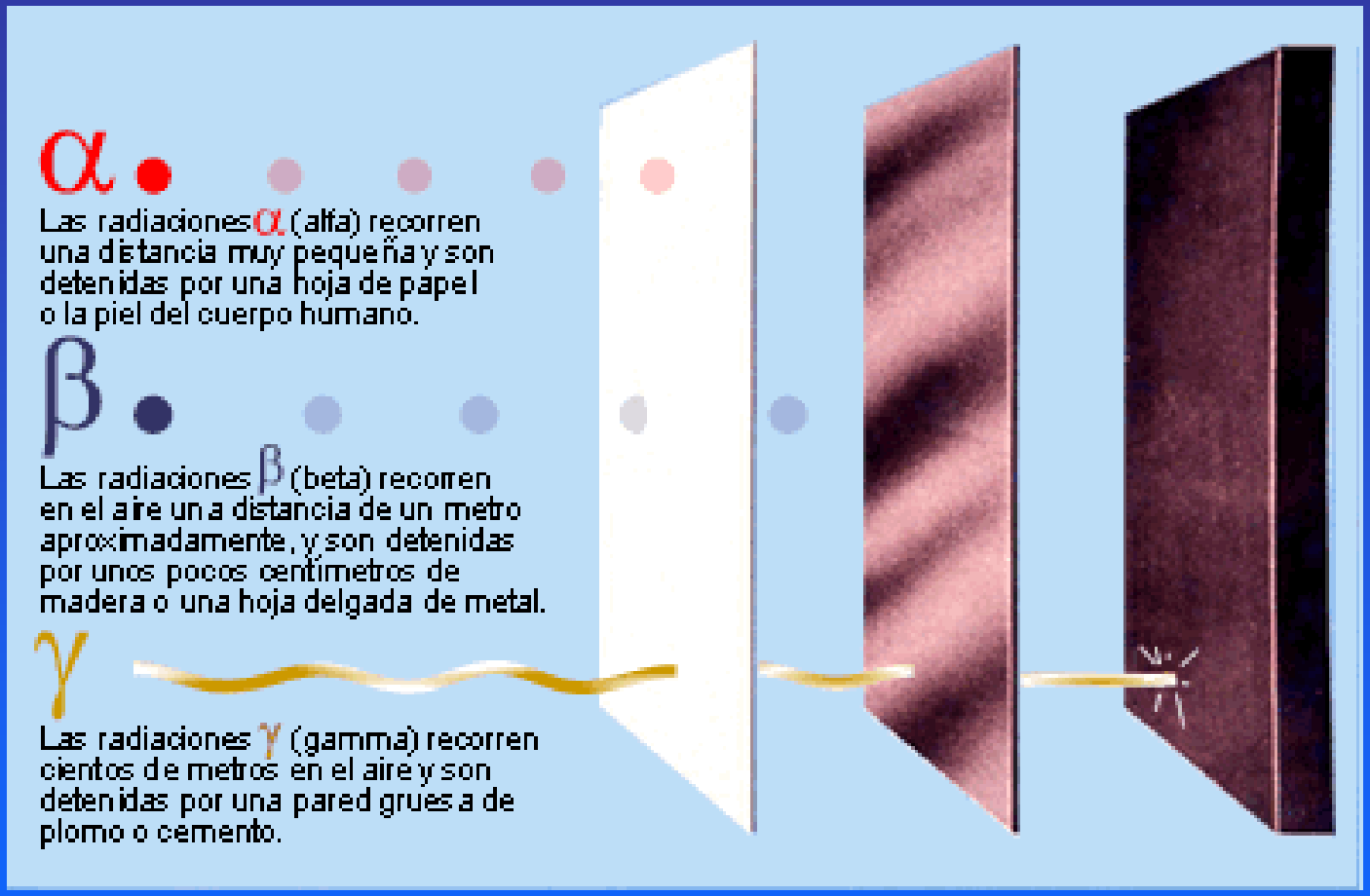
PÚBLICO:

- Total organismo 1 mSv/año
- Cristalino 15 mSv/año
- Piel 50 mSv/año

ESTUDIANTES (16-17 AÑOS):

- Total organismo 6 mSv/año
- Cristalino 150 mSv/año
- Piel y extremidades 150 mSv/año

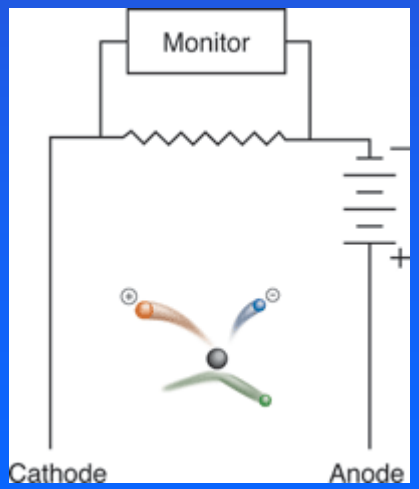
DETECCIÓN Y MEDIDA


α
Las radiaciones α (alfa) recorren una distancia muy pequeña y son detenidas por una hoja de papel o la piel del cuerpo humano.
β
Las radiaciones β (beta) recorren en el aire una distancia de un metro aproximadamente, y son detenidas por unos pocos centímetros de madera o una hoja delgada de metal.
γ
Las radiaciones γ (gamma) recorren cientos de metros en el aire y son detenidas por una pared gruesa de plomo o cemento.

Existencia de efectos observables al interaccionar las radiaciones con algunos materiales

FUNDAMENTOS FÍSICOS

Detector de radiación: Dispositivo capaz de acusar la existencia de radiación y medirla aprovechando los efectos que ésta produce al interaccionar con determinados medios materiales, que se traducen en un depósito de energía en el detector que depende de la cantidad de radiación incidente.



Principales efectos:

a) ***Ionización*** de gases o sólidos

b) ***Excitación de luminiscencia*** en sólidos o en líquidos

c) ***Ennegrecimiento*** de placas fotográficas

Gracias por vuestra atención