

# DESINTEGRACIONES RADIATIVAS

---



## CONTENIDOS

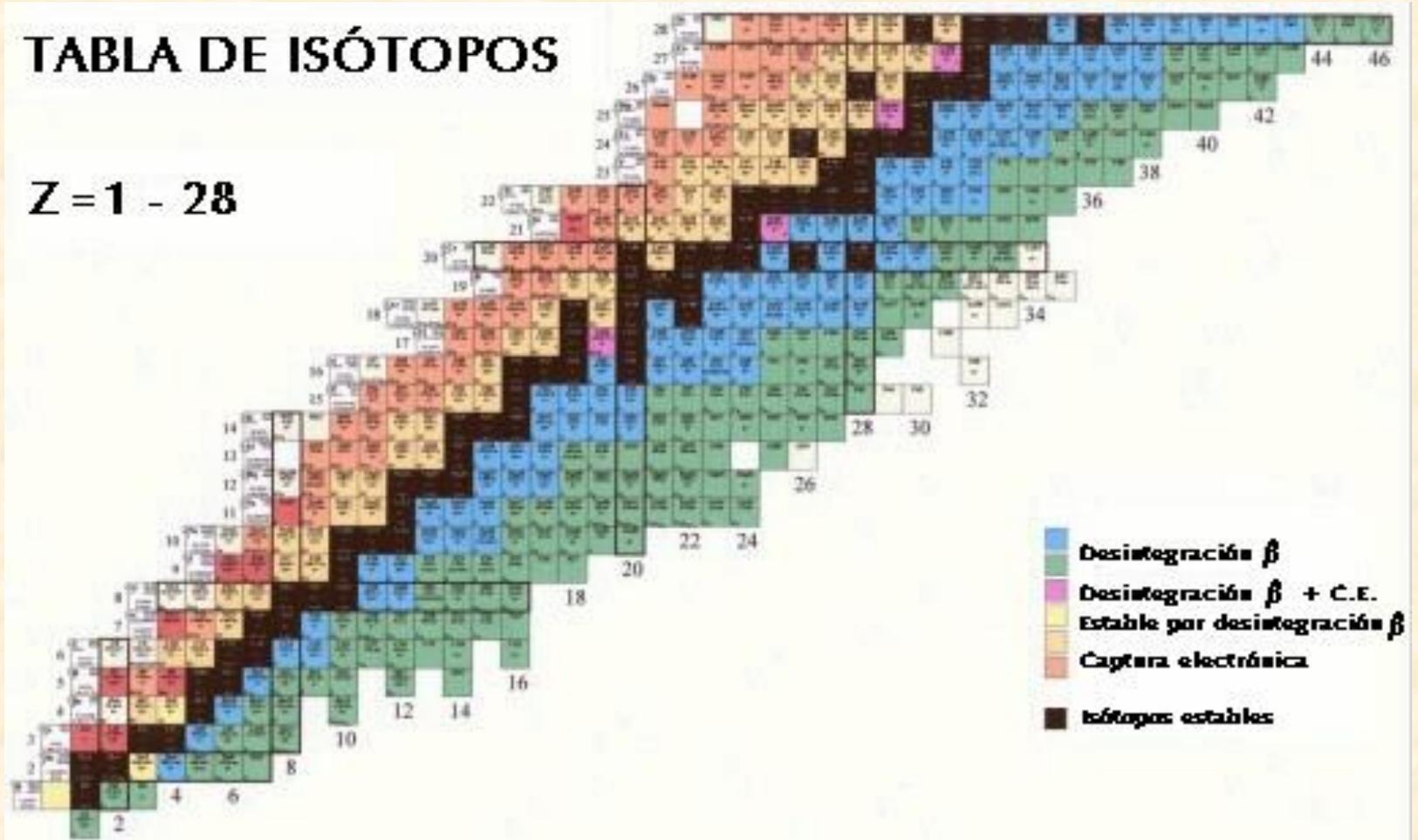
- **Producción y desintegración.**
- **Masa y actividad.**
- **Periodo de semidesintegración**
- **Vida media.**
- **Actividad.**
- **Unidades.**
- **Series Radiactivas.**

# ISÓTOPOS



## TABLA DE ISÓTOPOS

$Z = 1 - 28$

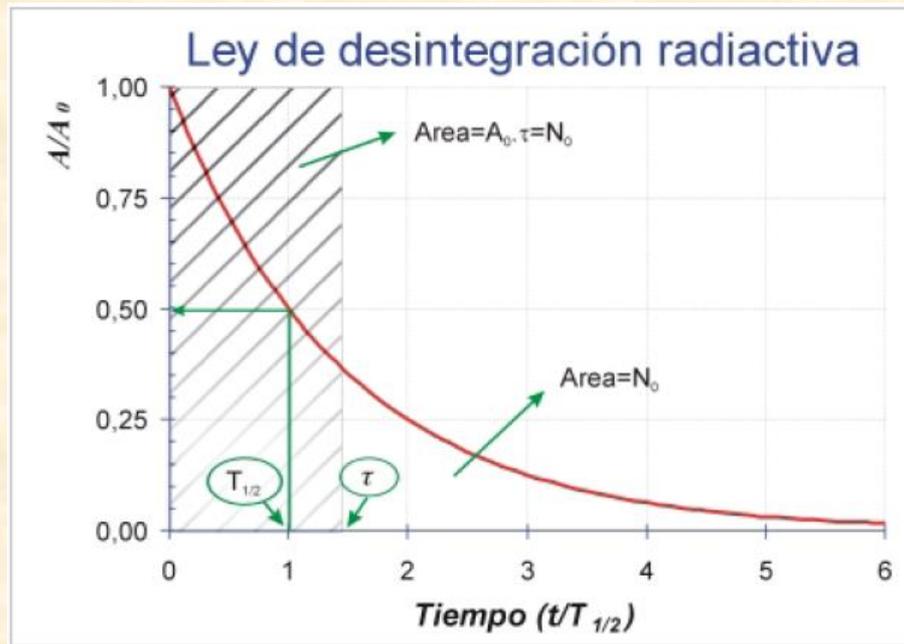


# LEY DE DESINTEGRACIÓN



## LEY DE DESINTEGRACIÓN RADIATIVA

$$\frac{dN}{dt} \underset{\Delta t \ll \frac{1}{\lambda}}{=} -\lambda N \quad \xrightarrow{t=0 \rightarrow N=N_0} \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$



# LEY DE DESINTEGRACIÓN



$\lambda$  (Constante de desintegración): probabilidad por unidad de tiempo de que un núcleo cualquiera se desintegre

$$\lambda = -\frac{1}{N} \frac{dN}{dt} \Rightarrow N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$N$  = número de átomos de un radionucleido en el instante  $t$

# ACTIVIDAD



**Actividad (A):** es el número de desintegraciones que se producen por unidad de tiempo

$$A(t) = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t} = \lambda N(t)$$

**Unidades: (desintegraciones/segundo)**

- 1 Becquerel (Bq) = 1 desintegración/segundo
- 1 curie (Ci) =  $3.7 \times 10^{10}$  Bq (actividad de un gramo de radio)
- 1 Rutherford (Rd) =  $10^6$  Bq

# PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN

## VIDA MEDIA



**Periodo de Semidesintegración ( $T_{1/2}$ ):** es el tiempo que debe transcurrir para que el número de núcleos se reduzca a la mitad

$$A(T_{1/2}) = \frac{A_0}{2} \rightarrow \frac{A_0}{2} = A_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \Rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

**Vida media ( $\tau$ ):** es el tiempo promedio que debe transcurrir para que un núcleo se desintegre

$$\tau = \frac{\int_0^{N_0} t dN}{N_0} = \frac{\int_0^{\infty} t N_0 \lambda e^{-\lambda t} dt}{N_0} = \frac{1}{\lambda} = 1.44 T_{1/2}$$

# INTRODUCCIÓN A LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

---



## CONTENIDOS

- **Radiactividad natural.**
- **Rayos Cósmicos.**
- **Unidades de dosimetría**
- **Efectos biológicos de la radiación.**
- **Seguridad Nuclear, valores de seguridad estándar para los trabajadores expuestos a la radiactividad.**

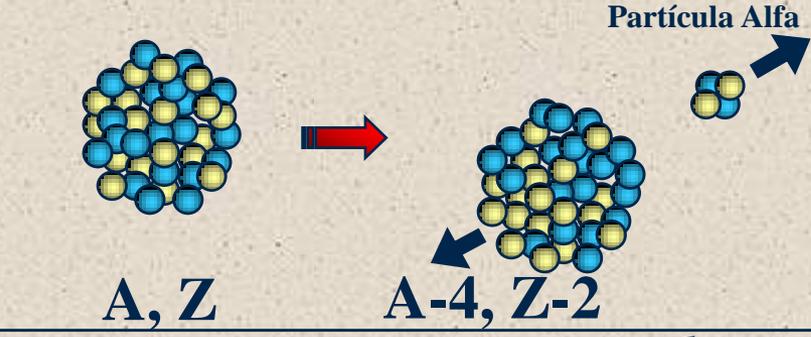
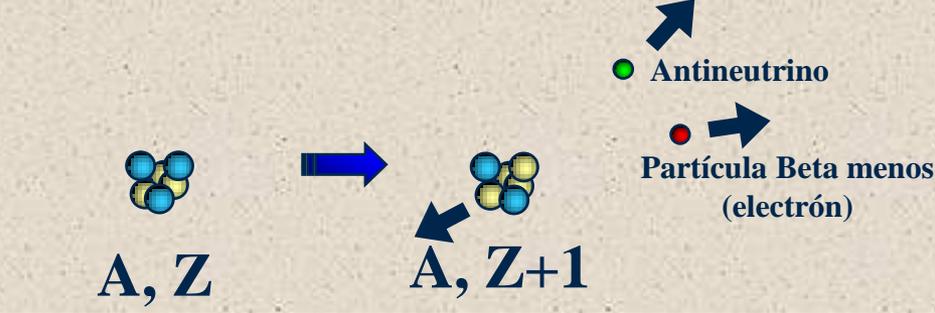
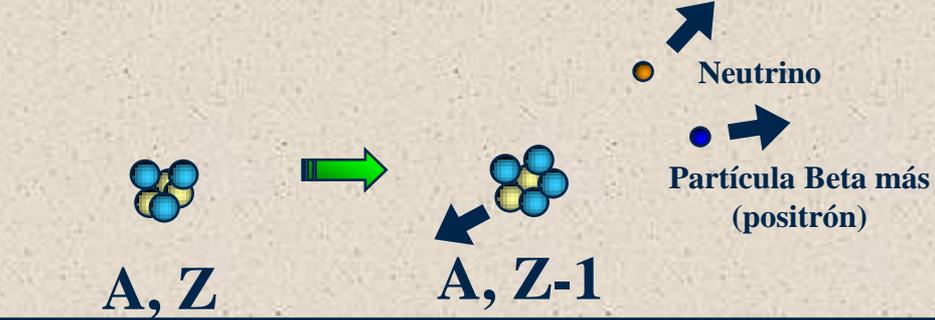
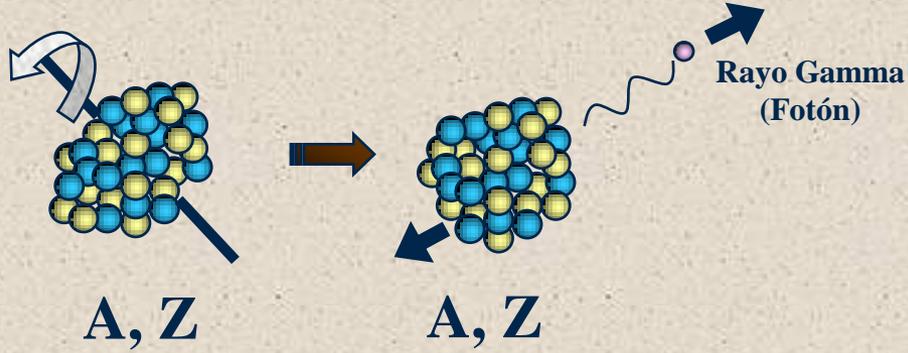
# ¿Qué es la Radiactividad?

DESINTEGRACIÓN  
GAMMA

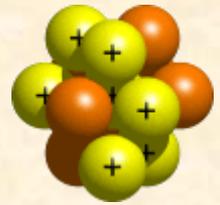
DESINTEGRACIÓN  
BETA MÁS

DESINTEGRACIÓN  
BETA MENOS

DESINTEGRACIÓN  
ALFA



# RADIATIVIDAD NATURAL



## SERIES RADIATIVAS NATURALES

$Z > 83 \rightarrow$  Elementos Radiactivos

	Familia	A	Denominación	
Primero	Período (años)	Último		
${}_{90}^{232}\text{Th}$	$T=13.9 \times 10^9$	${}_{82}^{208}\text{Pb}$	$4n$	Torio
${}_{94}^{241}\text{Pu}$	$T=2.2 \times 10^6$	${}_{82}^{209}\text{Pb}$	$4n + 1$	Neptunio
${}_{92}^{238}\text{U}$	$T=4.5 \times 10^9$	${}_{82}^{206}\text{Pb}$	$4n + 2$	Uranio-Radio
${}_{92}^{235}\text{U}$	$T=7 \times 10^8$	${}_{82}^{204}\text{Pb}$	$4n + 3$	Actinio

**RADIATIVIDAD  
NATURAL**

**Serie Radiactiva  
del Torio-232**



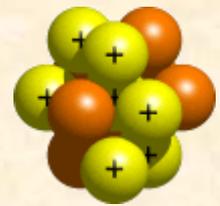
# RADIATIVIDAD NATURAL



Otros elementos  
radiactivos  
presentes en la  
naturaleza:

Nucleido	Período (años)	Desintegración
${}^{40}_{19}\text{K}_{21}$	$T=1.3\times 10^9$	$\beta^-$ , EC
${}^{50}_{23}\text{V}_{27}$	$T=1.4\times 10^{17}$	$\beta^-$ , EC
${}^{87}_{37}\text{Rb}_{50}$	$T=4.8\times 10^{10}$	$\beta^-$
${}^{113}_{48}\text{Cd}_{65}$	$T=9.3\times 10^{15}$	$\beta^-$
${}^{115}_{49}\text{In}_{66}$	$T=4.4\times 10^{14}$	$\beta^-$
${}^{138}_{57}\text{La}_{81}$	$T=1.0\times 10^{11}$	$\beta^-$ , EC
${}^{144}_{60}\text{Nd}_{84}$	$T=2.3\times 10^{15}$	$\alpha$
${}^{147}_{62}\text{Sm}_{85}$	$T=1.1\times 10^{11}$	$\alpha$
${}^{176}_{71}\text{Lu}_{105}$	$T=3.8\times 10^{10}$	$\beta^-$ , EC
${}^{187}_{75}\text{Re}_{112}$	$T=4.4\times 10^{10}$	$\beta^-$

# RADIATIVIDAD NATURAL



## PRODUCCIÓN DE $^{14}\text{C}$



$^{14}\text{CO}_2 \rightarrow \text{Fotosíntesis} \rightarrow \text{Cadena trófica}$

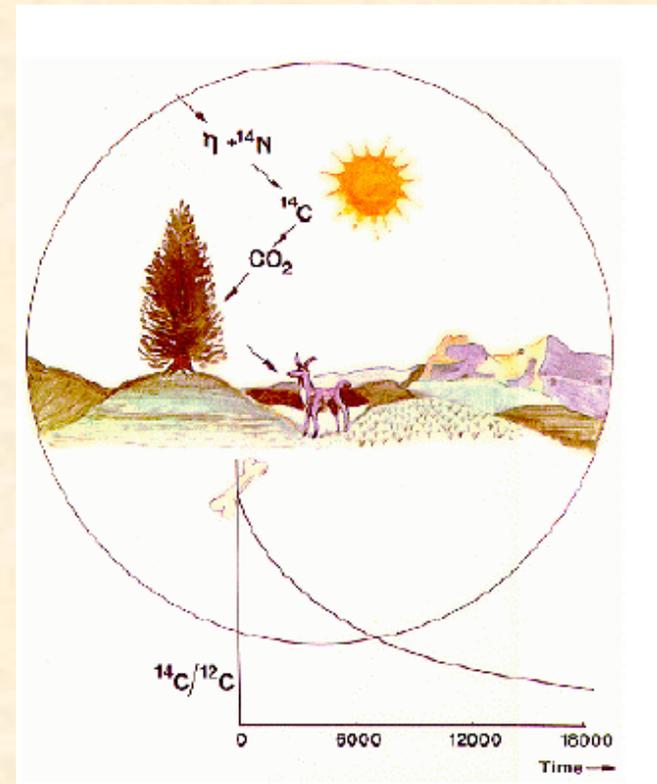


Isótopo	Abundancia (% en peso)
---------	---------------------------

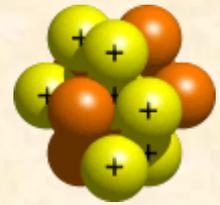
$^{12}\text{C}$	98.89
-----------------	-------

$^{13}\text{C}$	1.11
-----------------	------

$^{14}\text{C}$	$10^{-10}$
-----------------	------------



# RADIATIVIDAD NATURAL



## Radiactividad en la corteza terrestre

### Principales Radionucleidos

Los elementos radiactivos naturales se encuentran distribuidos en forma bastante uniforme en las rocas y suelos de la corteza terrestre, la cual está constituida principalmente por basalto y granito

Nucleo	Símbolo	Vida Media
Uranio-235	$^{235}\text{U}$	$7.04 \times 10^8$ años
Uranio-238	$^{238}\text{U}$	$4.47 \times 10^9$ años
Torio-232	$^{232}\text{Th}$	$1.41 \times 10^{10}$ años
Radio-226	$^{226}\text{Ra}$	$1.60 \times 10^3$ años
Radón-222	$^{222}\text{Rn}$	3.82 días
Potasio-40	$^{40}\text{K}$	$1.28 \times 10^9$ años

# RADIATIVIDAD NATURAL



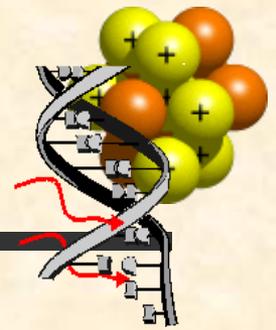
## Radiactividad en la comida

La radiación interna proviene de las sustancias radiactivas presentes en los alimentos, en el agua y en el aire, las cuales, al ser ingeridas o inhaladas, se absorben en los tejidos vivos. Los principales isótopos radiactivos que contiene el cuerpo humano son el potasio-40, el carbono-14 y el tritio

**NOTA:** 1Ci = 1 Curio =  $3.7 \times 10^{10}$  Bq  
1 Bq = 1 Becquerel = 1 desintegración / s

Comida	$^{40}\text{K}$ pCi/kg	$^{226}\text{Ra}$ pCi/kg
Plátano	3,520	1
Nueces	5,600	1,000-7,000
Zanahorias	3,400	0.6-2
Patatas	3,400	1-2.5
Cerveza	390	---
Carne Roja	3,000	0.5
Limón	4,640	2-5
Agua del Grifo	---	0-0.17

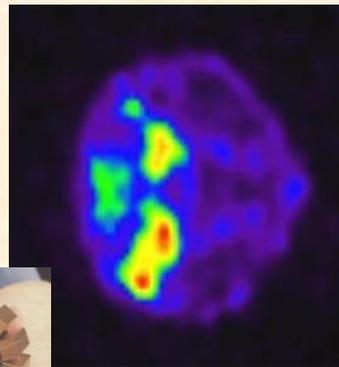
# Radiación en Medicina



**Medicina Nuclear**



**Radioterapia**



# RADIATIVIDAD NATURAL



## El Radón en Nuestras Vidas

El Radón es una de las principales sustancias que contribuye a la dosis que recibimos de manera natural. El Radón es un gas noble que se filtra hasta el interior de nuestras casas desde el subsuelo.

Es curioso observar cómo ésta dosis es mayor en países fríos, donde las medidas para aumentar la eficiencia energética limitan la renovación de aire en las viviendas.



# RAYOS CÓSMICOS

---

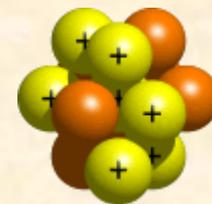


## RAYOS CÓSMICOS PRIMARIOS:

Son núcleos muy energéticos (90% protones, 9% partículas  $\alpha$ ) provenientes de supernovas, pulsares, agujeros negros, que llegan hasta la atmósfera.

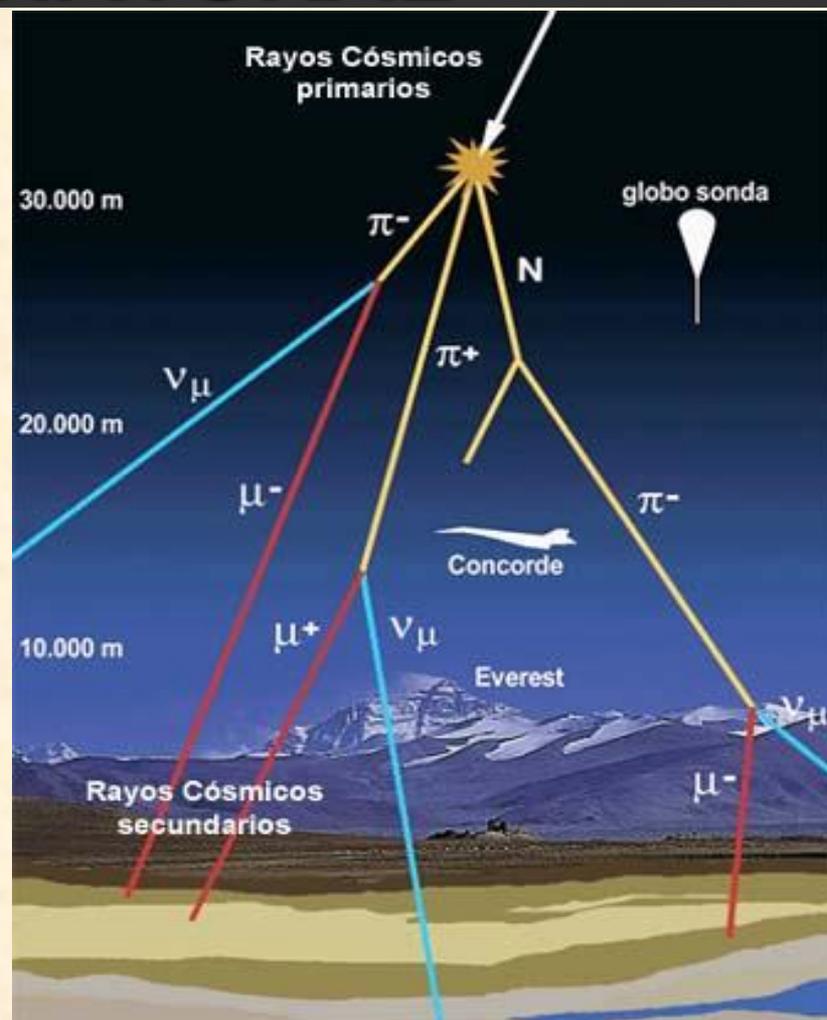
## RAYOS CÓSMICOS SECUNDARIOS:

Los rayos cósmicos primarios que golpean las capas más externas de la atmósfera, sufren colisiones con los núcleos que allí se encuentran. De estas colisiones resultan lluvias de nuevas partículas elementales (electrones, positrones, pi, muones, ...) que llegan a la superficie alcanzando una extensión de varios kilómetros cuadrados.



# RADIATIVIDAD NATURAL

## Rayos Cósmicos



# UNIDADES DE DOSIMETRÍA



**EXPOSICIÓN:** La exposición es una medida de la **ionización** producida por una radiación ionizante.

Su unidad es el **Roentgen (R)**, la exposición (rayos X o  $\gamma$ ) recibida por un kilogramo de aire en condiciones estándar de presión y temperatura (CSPT) si se produce un número de pares de iones equivalente a  $2.58 \times 10^{-4}$  Coulombios (la unidad electrostática de carga).

Esta unidad sólo sirve para rayos X y  $\gamma$ , como decimos, porque se mide en cámaras de ionización y han de ionizar un volumen importante. Es necesario que sean penetrantes.

# UNIDADES DE DOSIMETRÍA



## DOSIS ABSORBIDA

En cada material, la creación de un ión necesita una energía diferente. En vista de que el **Roentgen** deposita diferentes cantidades de energía según el material que recibe la exposición, resulta más adecuado definir la dosis absorbida (D):

**Energía depositada por unidad de masa**, independientemente de qué material se trate. Esta unidad sirve para otros tipos de radiaciones. En el S.I. la unidad de dosis absorbida es el **Gray (Gy)**:  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J / kg}$ .

Otra unidad usada de dosis absorbida es el **rad**:  $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$

# KERMA: energía cedida

---

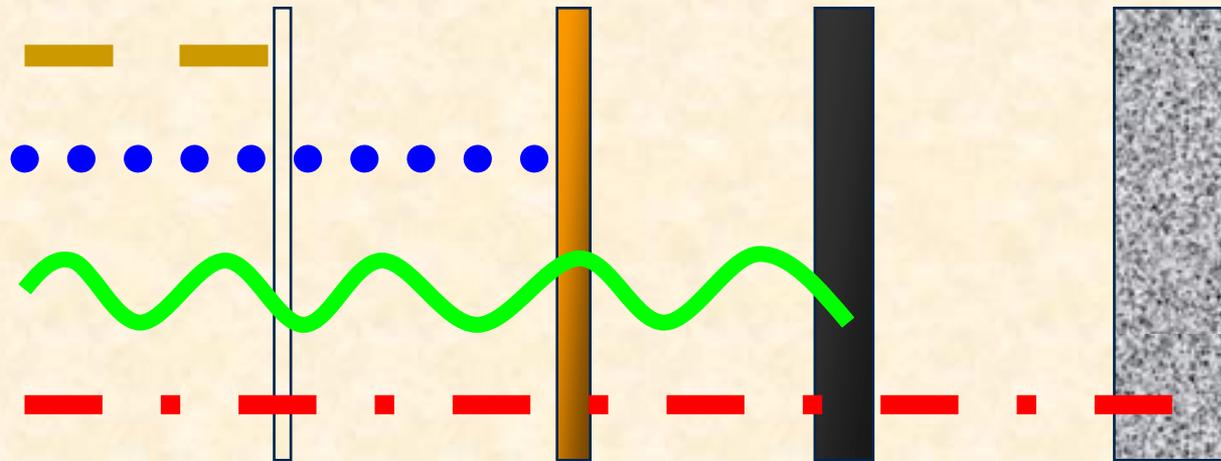


La dosis absorbida (energía absorbida en el material por unidad de masa) es difícil de calcular y medir. Por tanto, en muchas aplicaciones (como la radioterapia) se prefiere trabajar con el concepto de KERMA (K):

**K**inematic **E**nergy **R**eleased in **M**atter.

Mide la energía liberada por una radiación al atravesar un determinado material. ¡Ojo!, no es necesariamente la misma que la energía absorbida por el material, ya que muchas partículas generadas pueden abandonar el material sin depositar su energía. Sus unidades son también el Gy (J/Kg) y el rad (0.01J/Kg).

# ¿Qué es capaz de atravesar la radiación?



ALFA  $\alpha$

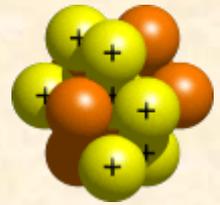
BETA  $\beta$

GAMMA  $\gamma$

NEUTRÓN

# UNIDADES DE DOSIMETRÍA

---



## FACTOR DE CALIDAD

Aunque todas las radiaciones ionizantes producen efectos biológicos similares, una cierta dosis absorbida puede producir efectos de magnitudes distintas, según el tipo de radiación de que se trate. Esta diferencia de comportamiento ha llevado a definir el factor de calidad (Q) para cada tipo de radiación.

Se toma  $Q = 1$  para rayos X y gamma. El factor de calidad es una medida de los efectos biológicos producidos por las distintas radiaciones, comparados con los producidos por los rayos X y gamma, para una misma dosis absorbida. El factor de calidad Q depende de la densidad de ionización de las diferentes radiaciones.

# UNIDADES DE DOSIMETRÍA



## Factores de calidad

<i>Tipo de radiación</i>	<i>Q</i>
Rayos X, $\gamma$	1
Electrones	1
Neutrones térmicos	2.3
Neutrones rápidos	10
Protones	10
Partículas $\alpha$	20

# UNIDADES DE DOSIMETRÍA



## DOSIS EQUIVALENTE

La dosis equivalente toma en cuenta el factor de calidad. Es igual a la dosis absorbida multiplicada por el factor de calidad. La unidad de dosis equivalente en el S.I. es el **Sievert (Sv)**, definido como:

$$1 \text{ SV} = 1 \text{ Gy} \times Q$$

La unidad antigua es el **rem**, con  $1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} \times Q$

# UNIDADES (RESUMEN)

---



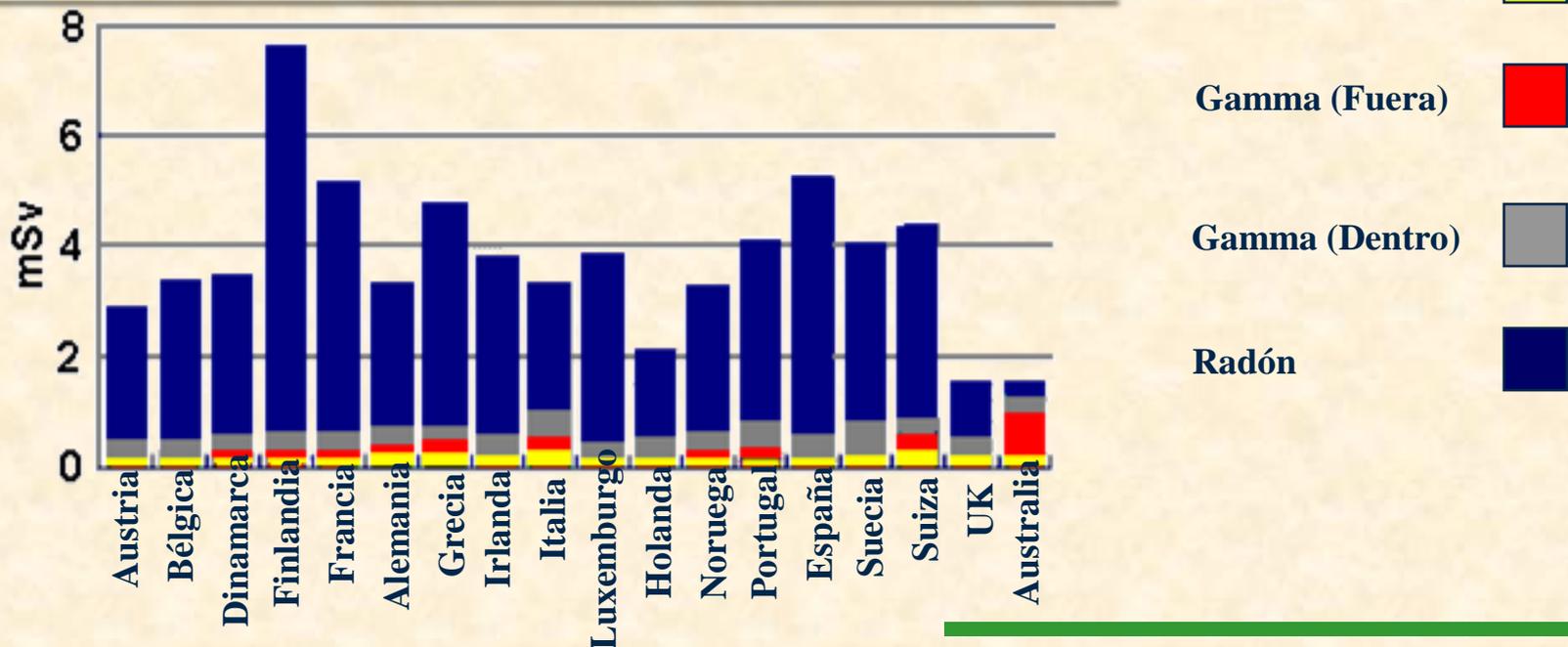
- **Actividad:** Desintegraciones por segundo (Bq y Ci)
- **Exposición:** Ionización en aire (C/Kg y Roentgen)
- **Dosis absorbida:** Energía absorbida (rad y gray=1J/Kg=100 rads).
- **Energía Cinética suministrada (KERMA):** (rad y gray=1J/Kg=100 rads).
- **Dosis equivalente:** Efecto biológico (rem y sievert)

# RADIATIVIDAD NATURAL



Un 87% de la dosis de radiación que recibimos proviene de fuentes naturales. La radiactividad está en todas partes: en las casas, en el aire que respiramos, en los alimentos que tomamos; incluso nuestro propio cuerpo es radiactivo. La Tierra es radiactiva por naturaleza y expone a los habitantes a la radiación proveniente de las rocas superficiales y el suelo.

## DOSIS MEDIA ANUAL PROVENIENTE DE RADIACIÓN NATURAL



Tasa de dosis gamma media diaria y mensual ( $\mu\text{Sv/h}$ )



# EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN



EFECTOS	CAUSAS	EJEMPLO
<b>INMEDIATOS</b>	<p>Cuando se produce un daño directo y simultáneo a ambos pares de los cromosomas. No es reparable.</p> <p>Si no se dañan los genes, pero otras zonas vitales de la célula, la célula simplemente muere.</p>	
<b>RETARDADOS</b>	<p>Se crean radicales libres e iones en las células que, más tarde, causarán daños en los genes del núcleo, en ambos pares de genes a la vez.</p>	

# EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN



EFECTOS	CAUSAS	EJEMPLO
<b>ESTOCÁSTICO o ALEATORIO</b>	Quando la probabilidad de que se presente el efecto es proporcional a la dosis recibida, no existiendo una dosis umbral, por debajo de la cual no se presente el efecto.	La probabilidad de que aparezca leucemia en un sujeto irradiado es tanto más grande cuanto mayor sea la dosis recibida y puede aparecer aunque la dosis recibida sea casi despreciable.
<b>NO ESTOCÁSTICO o DETERMINISTA</b>	Es aquél cuya intensidad (no su aparición o no aparición) es tanto mayor cuanto mayor sea la dosis recibida, existiendo una dosis umbral para la aparición del mismo.	La aparición de alopecia (calvicie) radioinducida es tanto más intensa cuanto mayor es la dosis pero no aparecerá nunca si la dosis es inferior a 2000 rads.

# EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN



## ALGUNOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN PARA DIVERSAS DOSIS

DOSIS	EFECTO ALEATORIO	DETERMINÍSTICO
2 mSv fondo natural	Mutaciones genéticas naturales. Del 0.1 al 2 % de todas las enfermedades hereditarias.	
2.5 mSv; fondo natural + actividades humanas	Idem	
5 mSv; dosis promedio personal profesionalmente expuesto . Límite legal para el público.	3 muertes/10000 personas en 50 años; 0.65 casos de efectos hereditarios graves en 2 generaciones.	
50 mSv, límite legal para el personal profesionalmente expuesto	3 muertes/1000 personas en 50 años; 6.5 casos de efectos hereditarios graves en dos generaciones.	
3 - 4 Sv, dosis local		depilación
3 - 6 Sv, dosis local		eritema
2 - 9 Sv, dosis local		opacificación del cristalino
2.5 - 3 Sv, dosis cuerpo entero		mortalidad 50 % en menos de 60 días
10 Sv, dosis cuerpo entero		mortalidad 100 % en menos de 10 días

# EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN



## INTERACCIONES BIOLÓGICAS BÁSICAS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES. RESPUESTA CELULAR.

La interacción de la radiación con las células es una función de **PROBABILIDAD**, es una cuestión de azar, es decir, puede o no interaccionar.

La interacción de la radiación en una célula es de carácter **NO SELECTIVO**, es decir, se puede depositar al azar en cualquier parte de la célula.

Los cambios visibles producidos en las células, tejidos y órganos no son únicos, **NO SON ESPECÍFICOS**, no se pueden distinguir de los daños producidos por otro tipo de trauma.

La acción de las radiaciones ionizantes sobre las células **ES SIEMPRE DE CARÁCTER LESIVO**, es decir, dicho efecto siempre lleva un daño y nunca un beneficio.

Los cambios biológicos que resultan de las radiaciones ionizantes se manifiestan sólo cuando ha transcurrido cierto periodo de tiempo, llamado **PERIODO DE LATENCIA**, que depende de la dosis inicial y que puede variar desde unos minutos hasta semanas o años.

# SEGURIDAD NUCLEAR



Los límites anuales de dosis radiológica fijados por la Unión Europea que una persona puede absorber son:  
(Página y reglamento del CSN):

[www.csn.es](http://www.csn.es)

- **Trabajadores profesionalmente expuestos** (los que habitualmente están sometidos a radiaciones ionizantes) de **20 mSv** (100 mSv de promedio en 5 años). Hasta 250 mSv en caso de accidente y por una sola vez en toda la vida laboral.
- **Población en general** el límite está en **5 mSv** (=500 mrem).

# SEGURIDAD NUCLEAR



**Límites a la ingesta/inhalación de radioisótopos.** La cantidad máxima admisible en el cuerpo que puede resultar de algunas actividades está limitada. El límite tiene en cuenta la dosis máxima equivalente y el periodo efectivo de eliminación del isótopo:

Por ejemplo:  $^{131}\text{I}$ , se acumula en el tiroides, el periodo efectivo es de 7,5 días y el límite  $0,2 \mu\text{Ci}$ .

$^{14}\text{C}$ , periodo efectivo de 14 días, se acumula en la grasa, límite  $86 \mu\text{Ci}$ .

# SEGURIDAD NUCLEAR: ALARA



- Medidas de protección: **ALARA** o **As Low As Reasonably Achievable** (porque hay efectos no determinísticos!!!).

Evitar la dosis interna: no comer, ni beber ni fumar en presencia de fuentes radiactivas

- Minimizar exposición:
  - 1) Reducir el tiempo de exposición
  - 2) Mantener la máxima distancia con las fuentes
  - 3) Blindar o apantallar las zonas activas



# **GRACIAS POR LA ASISTENCIA, Y SUERTE (Y ÁNIMO) PARA ESTE CURSO.**

**No olvidéis visitar la web:  
<http://nuclear.fis.ucm.es>**