

Fuentes Radiactivas

ENR 2024

Fuentes de radiación

La radiactividad es parte natural de nuestro medio ambiente. nuestro planeta ha sido radiactivo desde su creación y los radionucleídos se encuentran en el suelo, el aire y en el agua.

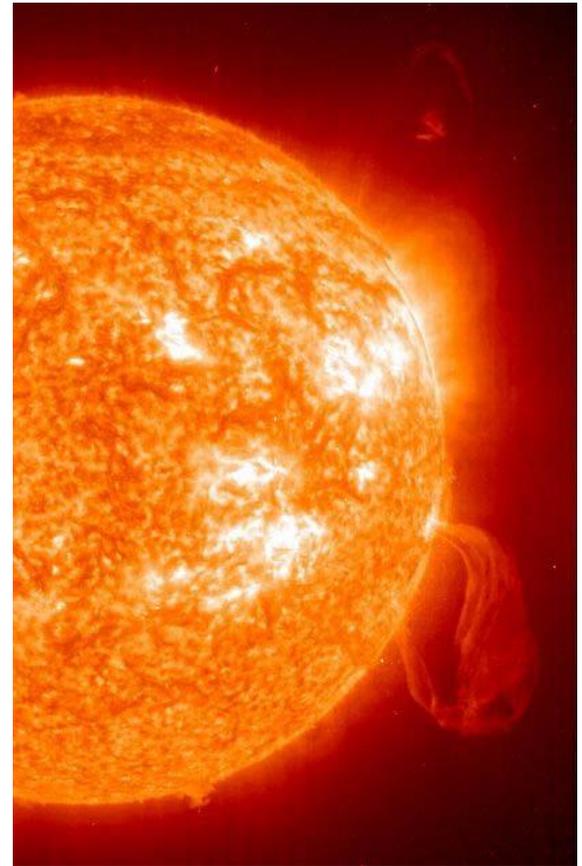
El H y He fueron los elementos producidos en el inicio del universo.

He, C, N, O,..., Fe son producidos en el interior de las estrellas del tipo del Sol.

Elementos más pesados que el Fe son producidos en gigantes rojas y durante la explosión de supernovas.

Procesos *naturales*, y procesos vinculados con la actividad humana o *artificiales*

Según su origen la radiactividad natural, puede clasificarse en procesos ***primordiales*** y ***cosmogénicos***.



Radioactividad **Natural**. Presencia de radionucleídos en el planeta Tierra desde **su creación**

La radiación natural



Series o familias radiactivas suman unos **42** radionucleídos además de **18 radionucleídos** que **decaen por una sola etapa**

Procesos cosmogénicos

Radiación cósmica:
proveniente directa o indirectamente del exterior del planeta

Primaria

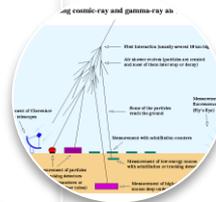
protones, electrones, iones helio, neutrinos

Secundaria

originada en reacciones con la atmósfera, radionucleídos cosmogénicos (^{14}C , ^7Be , ^{22}Na), protones neutrones, piones)



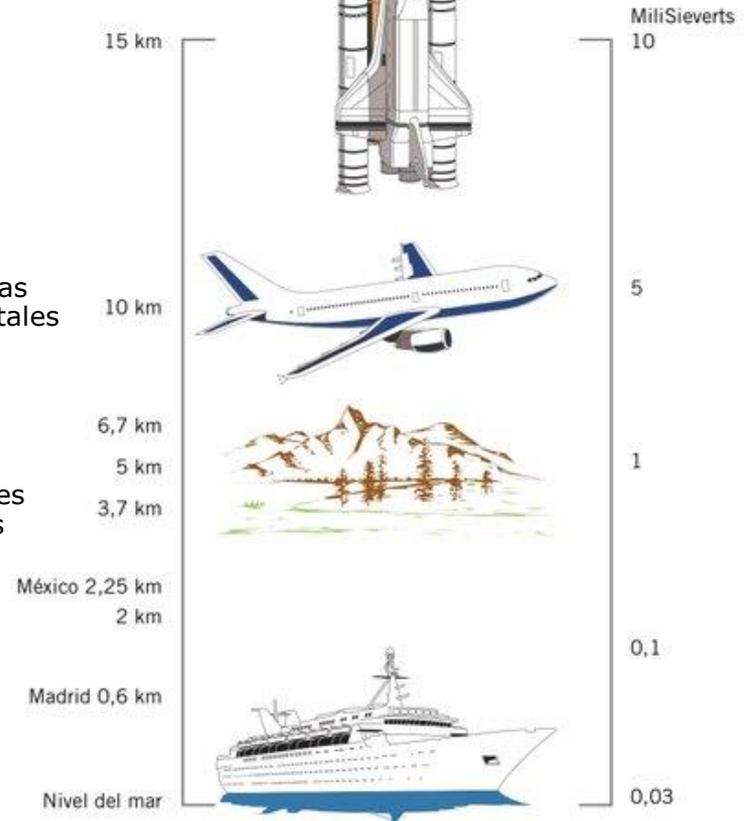
Espacio exterior



Partículas elementales



Reacciones nucleares



La radiación cósmica aumenta con la altura ya que disminuye la protección que nos proporciona la atmósfera terrestre. La figura ilustra los valores anuales de radiación cósmica a diferentes altitudes.

✓ *Otras radiaciones:*

Protones y partículas alfa: energías de 100 a 100000 MeV, aunque han llegado a observarse energías de hasta 10^{14} MeV (desintegraciones nucleares 10 MeV).

producen cascadas de partículas cargadas y neutras, interactúan con los núcleos de los gases de la atmósfera mediante una variedad de reacciones nucleares: neutrones, protones, muones, piones y kaones junto con radionucleídos ^3H y ^7Be



fondo de radiación a nivel del mar,

La dosis aumenta con la altitud.

Usuarios frecuentes de viajes aéreos están expuestos a niveles de radiación más elevados.

Procesos primordiales

Radiación terrestre interna:

La radiactividad es parte natural de nuestro medio ambiente.

Corteza terrestre

Nucleídos primordiales.
 ^{226}Rn

Sistemas biológicos

Carbono ^{14}C , tritio ^3H , y potasio ^{40}K

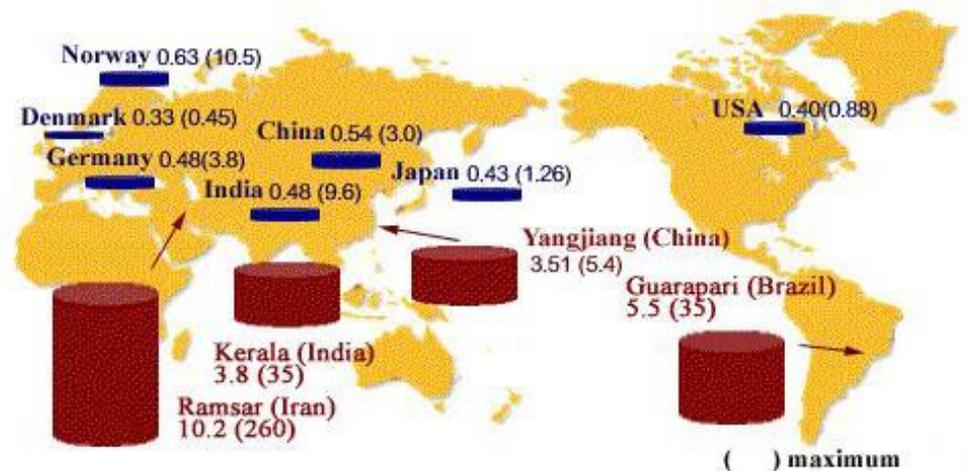
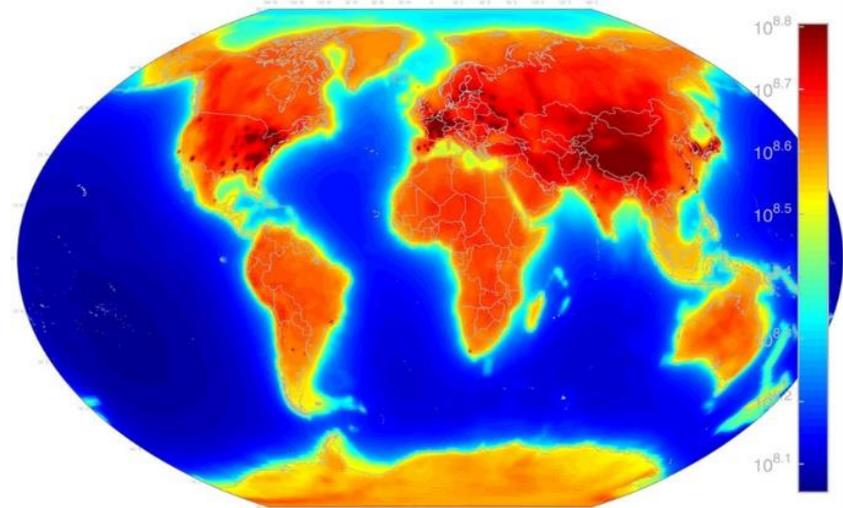
Contribuyen al fondo natural de radiación



Corteza terrestre



Cadenas naturales



() maximum

La concentración local de los radionucleídos naturales depende de la hidrogeología del lugar:

Tabla 3.2: Rango de actividades de radionucleídos naturales en suelos (Bq/kg) de distintas regiones del mundo.

<i>continente</i>	^{40}K	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th
África	29 - 1150	2 - 120	5 - 180	2 - 140
América del Norte	6 - 700	4 - 140	8 - 160	1 - 130
América del Sur	540 - 750			
Asia Oriental	7 - 1500	2 - 690	2 - 440	1 - 220
Asia Occidental	87 - 980	10 - 78	8 - 77	5 - 60
Europa del Norte	140 - 1150	3 - 30	6 - 310	5 - 59
Europa Oriental	0 - 3200	2 - 330	5 - 900	1 - 180
Europa Occidental	40 - 1400	0 - 190	1 - 210	2 - 160
Europa del Sur	0 - 1650	1 - 240	0 - 250	2 - 210
Medias	94,3 - 1386,6	3 - 227,3	4,4 - 315,9	2,4 - 144,9

Datos del Comité Científico de Efectos de la Radiación Atómica de las Naciones Unidas (UNSCEAR).

Procesos primordiales

Cadenas radiactivas

Los núcleos primordiales, que existen desde los orígenes de la tierra

Cuatro cadenas radiactivas naturales



Corteza terrestre



Cadenas naturales



Reacciones nucleares

$$A = 4n \quad ^{32}\text{Th} \quad 1,39 \times 10^{10} \text{ a} \quad ^{208}\text{Pb}$$

$$A = 4n + 1 \quad ^{237}\text{Np} \quad 2,25 \times 10^6 \text{ a} \quad ^{209}\text{Bi}$$

$$A = 4n + 2 \quad ^{238}\text{U} \quad 4,51 \times 10^9 \text{ a} \quad ^{206}\text{Pb}$$

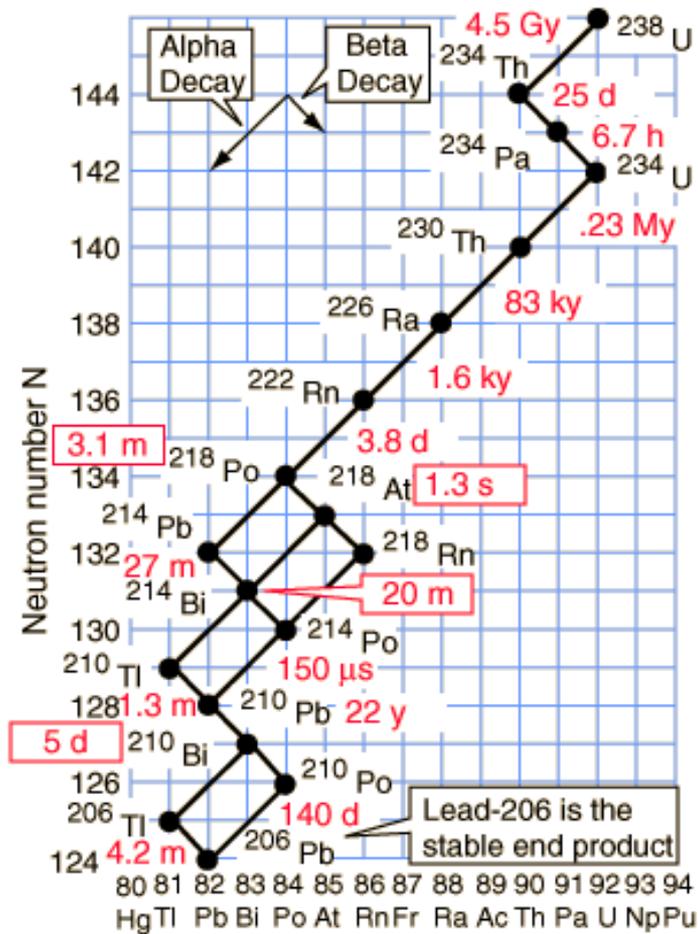
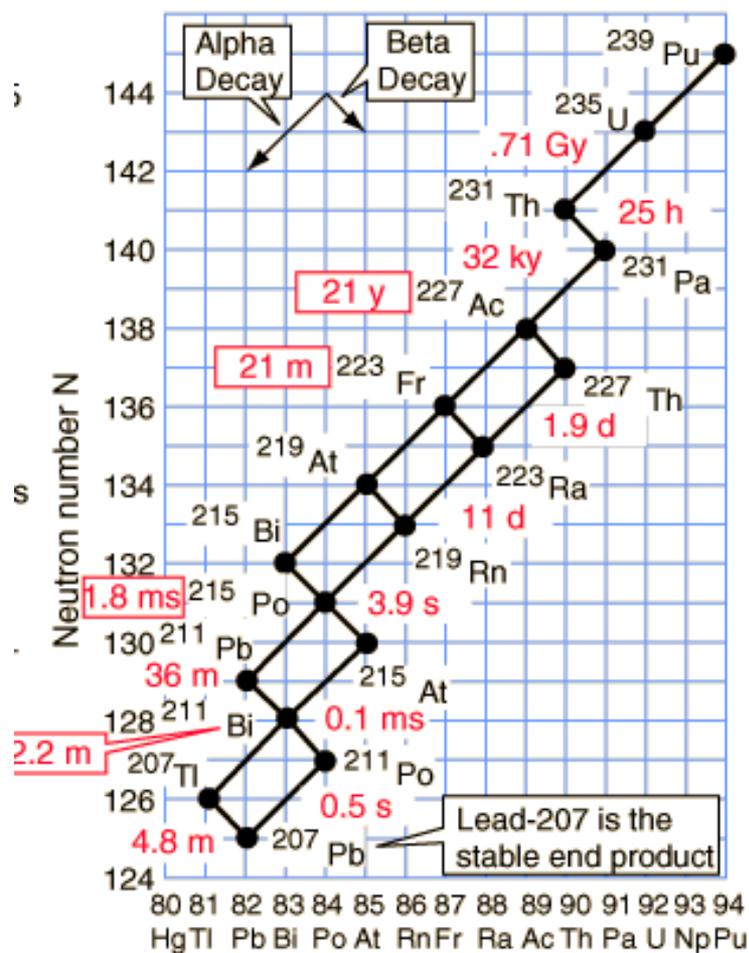
$$A = 4n + 3 \quad ^{235}\text{U} \quad 7,07 \times 10^8 \text{ a} \quad ^{207}\text{Pb}$$

No existe naturalmente

Edad de la Tierra aprox. $4,5 \times 10^9$ años

Todos los núcleos pesados que se desintegran emitiendo partículas α pueden clasificarse dentro de una de cuatro cadenas naturales de desintegración.

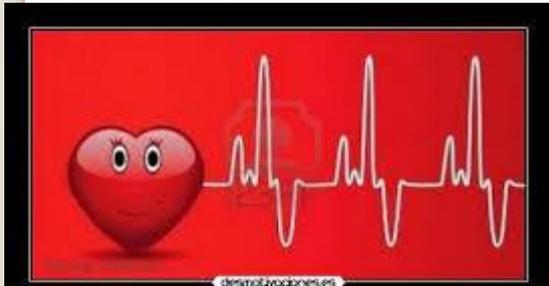
$t_{1/2}$ largos si Q es pequeño





Algunos datos interesantes

Supongamos *un jardín de 400m²* al que se le retira toda la tierra hasta un metro de profundidad, allí encontraremos:



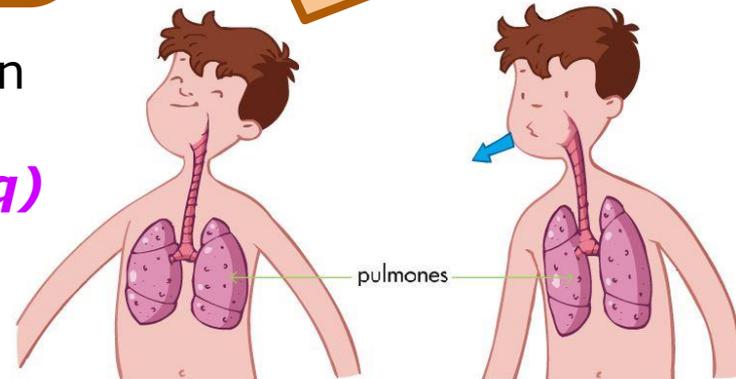
Entre dos latidos del corazón, **8.000 y 10.000 núcleos se desintegran**



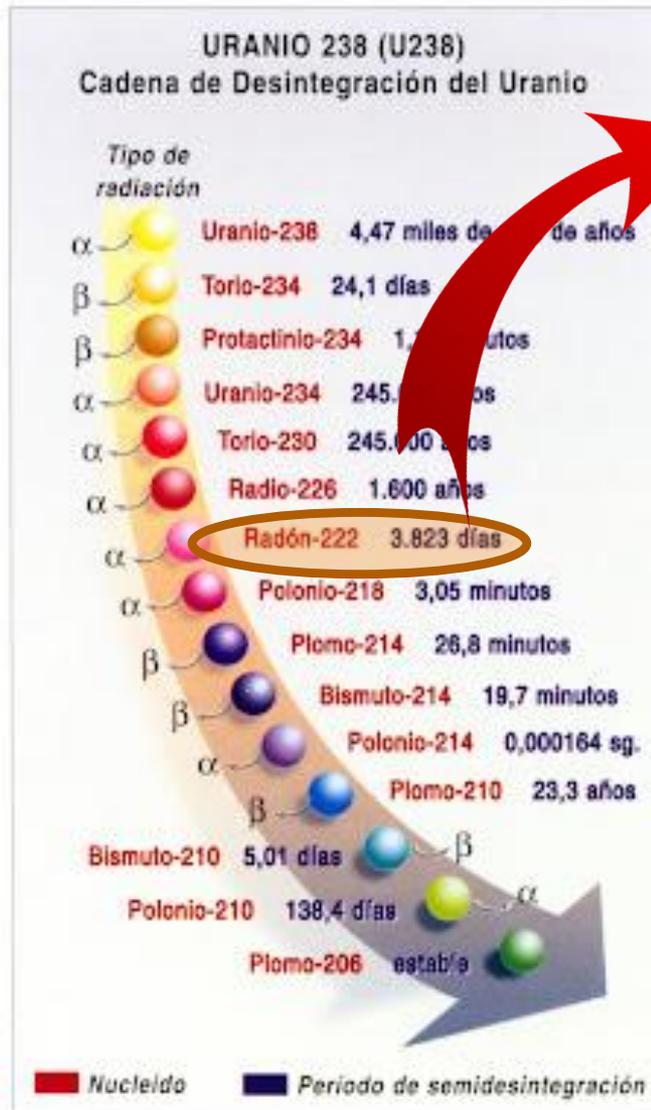
Somos una pequeña **fuentes radioactiva** con una actividad de unas **8.000 desintegraciones por segundo (8.000 Bq)**

Un niño de 5 años tiene una actividad natural de **600 Bq.**

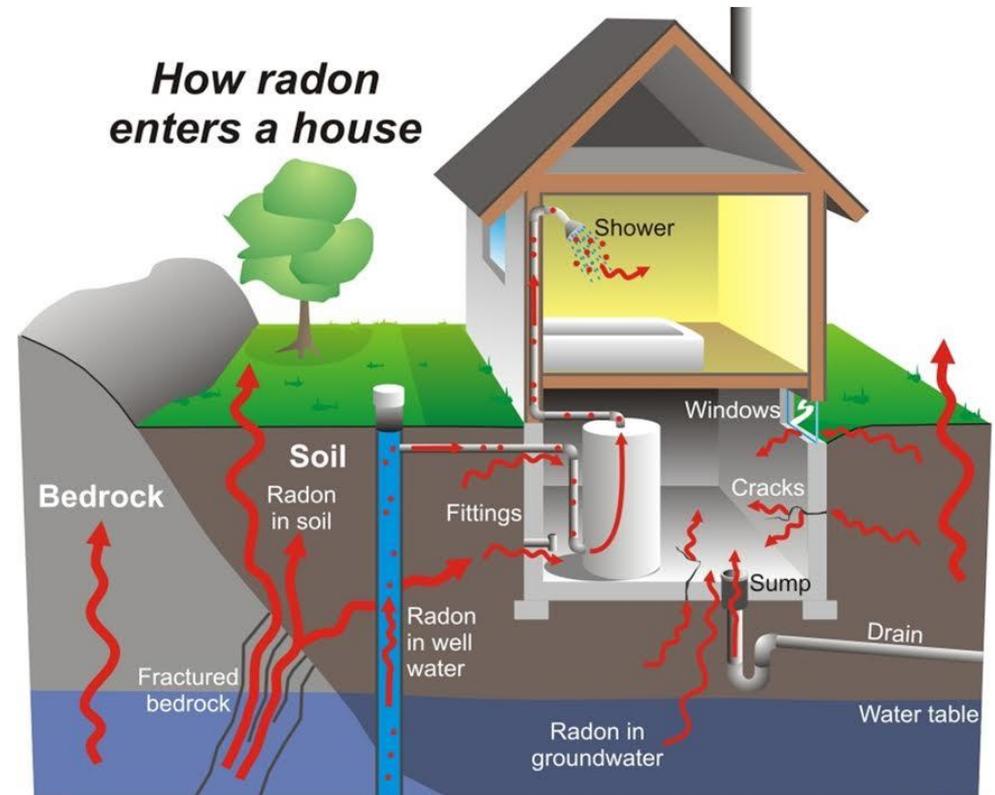
Un adulto de 70 kg tiene una actividad natural de **10.000 Bq**



La peligrosidad del Radón



La inhalación de radón y su descendencia provoca irradiación alfa en las células del tracto respiratorio.



El radón

Producto de decaimiento de las series naturales del U y del Th, es el responsable de la mayor parte de la radiación absorbida por el hombre. En efecto, cerca del 60-70% de la exposición a la radiación natural se debe a este elemento.

Es un gas noble inodoro, incoloro, insípido y radiactivo.

Cuando el gas radón emerge del terreno se dispersa en el aire, por lo tanto su concentración en lugares abiertos es baja. En lugares cerrados como casas y edificios, cuando penetra (en general desde el suelo a través del piso) su concentración aumenta.

Viviendas bien ventiladas.
Materiales de construcción
Aislamiento del suelo
Agua subterránea emana Rn.

Tabla 3.4: Isótopos del Rn y Po.

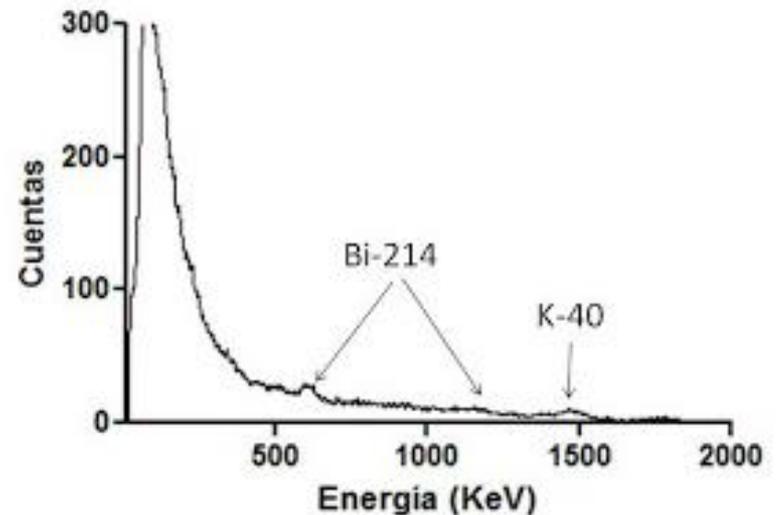
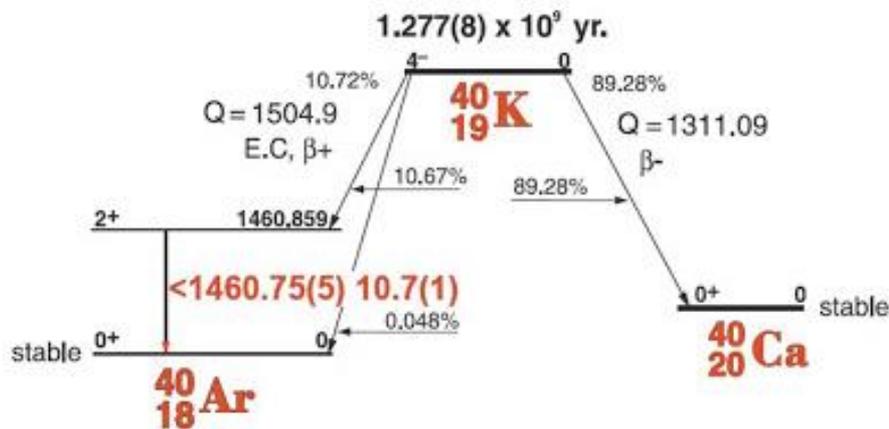
<i>serie</i>	<i>radiomucleido</i>	<i>emisor</i>	<i>energía (MeV)</i>	<i>semivida</i>
²³⁸ U	²²² Rn	α	5,5	3,82 d
		γ		
	²¹⁸ Po	α	6	3,05 d
		β ⁻		
		γ		
²³⁵ U	²¹⁹ Rn	α	6,8; 6,6 y 6,4	3,96 s
		γ	271; 4,02	
	²¹⁵ Po	α	7,4	0,0018 s
		β ⁻		
		γ		
²³² Th	²²⁰ Rn	α	6,3	55,6 s
		γ		
	²¹⁶ Po	α	6,8	0,16 s
		γ		

✓ Otros radionucleídos primordiales: ^{50}V , ^{87}Rb , ^{113}Cd , ^{115}In , $^{125,128,130}\text{Te}$, ^{138}La , ^{142}Ce , ^{144}Nd , $^{147,148}\text{Sm}$, ^{152}Gd , ^{174}Hf , ^{176}Lu , ^{187}Re , $^{190,192}\text{Pt}$ y ^{209}Bi y el ^{40}K .

El **potasio** ($T_{1/2} = 1,3 \times 10^9$ a) es un elemento muy común que es un componente esencial del tejido orgánico. La *abundancia isotópica* ^{40}K es 0,012%



nosotros somos radiactivos y podemos ser considerados como *fuentes radiactivas*.



Padre	Hijo	Vida media (años)	Tipo de desintegración
Potasio-40	Argón-40	$1,3 \cdot 10^9$	Captura de electrón
	Calcio-40		Beta
Vanadio-50	Titanio-50	$\sim 6 \cdot 10^{15}$	Captura de electrón
	Cromo-50		Beta
Rubidio-87	Estroncio-87	$4,7 \cdot 10^{10}$	Beta
Indio-115	Estaño-115	$5 \cdot 10^{14}$	Beta
Teluro-123	Antimonio-123	$1,2 \cdot 10^{13}$	Captura de electrón
Lantano-138	Bario-138	$1,1 \cdot 10^{11}$	Captura de electrón
	Cerio-138		Beta
Cerio-142	Bario-138	$5 \cdot 10^{15}$	Alfa
Neodimio-144	Cerio-140	$2,4 \cdot 10^{15}$	Alfa
Samario-147	Neodimio-143	$1,06 \cdot 10^{11}$	Alfa
Samario-148	Neodimio-141	$1,2 \cdot 10^{13}$	Alfa
Samario-149	Neodimio-145	$\sim 4 \cdot 10^{14}?$	Alfa
Gadolinio-152	Samario-148	$1,1 \cdot 10^{11}$	Alfa
Disproseo-150	Gadolinio-152	$2 \cdot 10^{14}$	Alfa
Hafnio-174	Yterbio-170	$4,3 \cdot 10^{15}$	Alfa
Lutecio-176	Hafnio-176	$2,2 \cdot 10^{10}$	Beta
Renio-187	Osmio-187	$4 \cdot 10^{10}$	Beta
Platino-190	Osmio-186	$7 \cdot 10^{11}$	Alfa
Plomo-204	Mercurio-200	$1,4 \cdot 10^{17}$	Alfa
Torio-232	Plomo-208	$1,41 \cdot 10^{10}$	8Alfa+4Beta
Uranio-235	Plomo-207	$7,13 \cdot 10^8$	7Alfa+4Beta
Uranio-238	Plomo-206	$4,51 \cdot 10^9$	8Alfa+6Beta

Cuadro 2.1.1: Núclidos de largo período de vida media.

Acumulación de radionucleídos naturales por la industria

Materiales naturales que contienen nucleídos radiactivos son utilizados como materia prima por distintas industrias.

La minería y el procesamiento del U y arenas, la combustión de combustibles fósiles, la producción de materiales que contienen fosfatos, etc., contribuyen a modificar las concentraciones naturales de radiosótopos.

Las industrias y la producción de energía basadas en la quema de carbón o petróleo liberan al medio ambiente los radionucleídos primordiales que contienen. Por ejemplo, el carbón contiene típicamente 50 Bq/kg de ^{40}K , 20 Bq/kg de ^{238}U y 20 Bq/kg de ^{232}Th .

Las rocas que contienen fosfatos son la materia prima de un gran número de materiales tales como fertilizantes y detergentes. Los fosfatos contienen niveles de ^{40}K y ^{232}Th similares a los del suelo.

- Los **núcleos cosmogénicos**, asociados a la acción de los rayos cósmicos: generan ~ 25 especies de núcleos radiactivos

✓ *Datación con ^{14}C :*

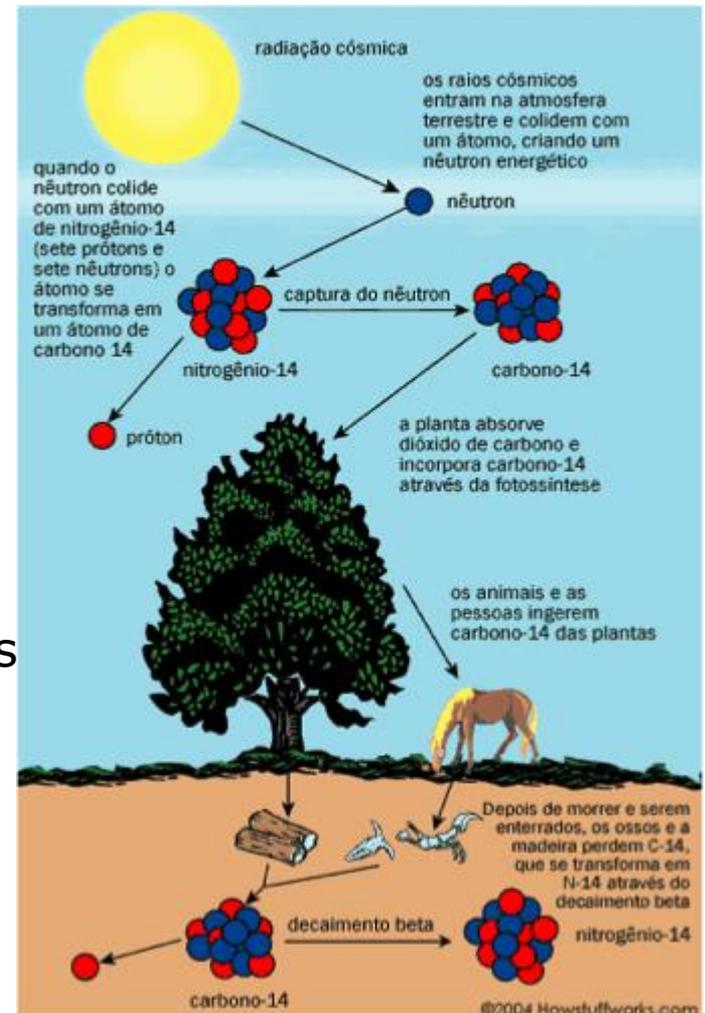


$T_{1/2}$ of $^{14}\text{C} = 5730$ años.

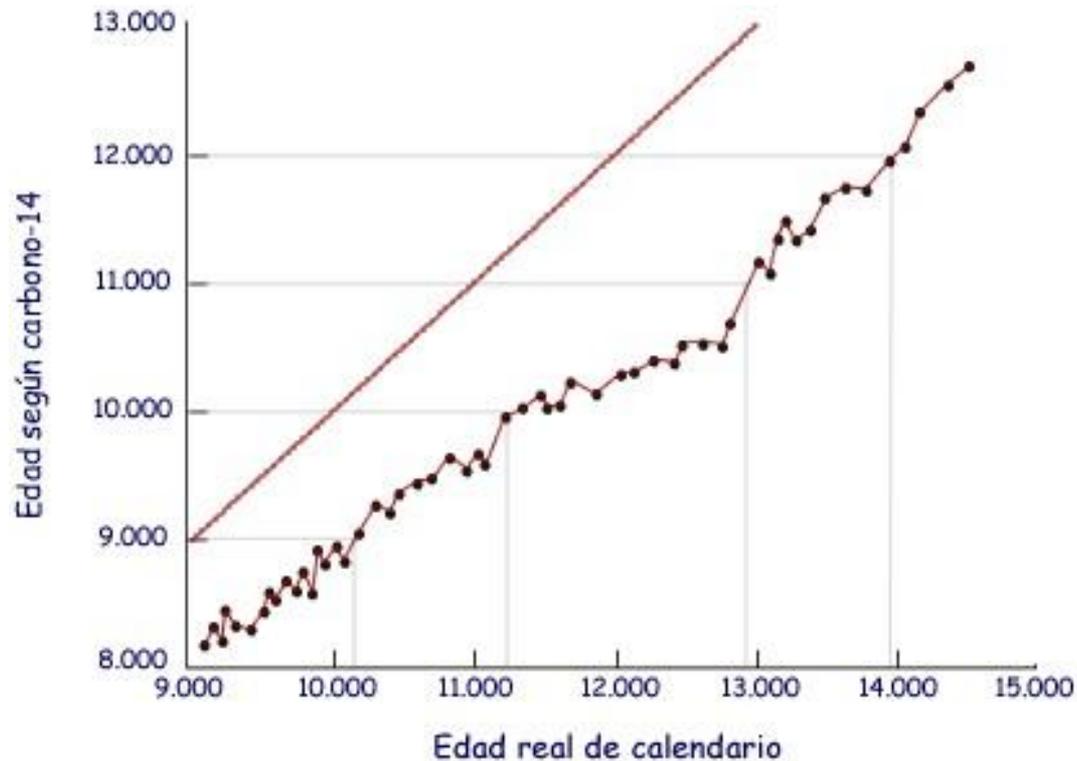
El C es incorporado por los organismos biológicos vivos, especialmente las plantas formando parte de sus tejidos en CO_2 , manteniendo constante la razón:

$$^{14}\text{C} / ^{12}\text{C} = 1.2 \times 10^{-12}$$

Tras la muerte del organismo, se deja de absorber C de la atmósfera y la razón $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ disminuye con el tiempo.



Efectivo para 1,000 a 25,000 años atrás.



Se conocen, más o menos con exactitud, las variaciones habidas en los últimos 11.800 años gracias a la dendrocronología.



Curva de correspondencia entre la edad real y la edad según el carbono-14 , desde el 9.000 al 15.000 años antes del presente, según mediciones en Cariaco.

Otros métodos de datación

El *potasio-40* es otro elemento radioactivo que se encuentra de forma natural en los organismos vivos, tiene un período de 1,3 mil millones de años.

K-40/Ar-40



$40\text{K}/40\text{Ar}$

$40\text{Ar}/39\text{Ar}$

El *uranio-235* (período de 704 millones de años), el *uranio-238* (período de 4,5 mil millones de años), el *torio-232* (período de 14 mil millones de años) y el *rubidio-87* (período de 49 mil millones de años).

Radioactividad **Artificial** o antropogénica o inducida: manifestada por los radioisótopos producidos en transformaciones artificiales



vinculados con la actividad humana (producción de nucleídos para uso en medicina, la lluvia radiactiva (en inglés fallout) debida a los ensayos de armas nucleares en la atmósfera y accidentes, desechos radiactivos, etc.

1956 primera planta nuclear (Inglaterra)

435 reactores en operación (31 países) producen alrededor del 14% de la electricidad mundial. (2013, IAEA)

12 de los países proveen mas del 30% energía

61 en construcción

230 reactores experimentales en 57 países



Usadas solo dos veces en la historia en 1945



Ensayos

Estados Unidos 1.032
(1945 y 1992)

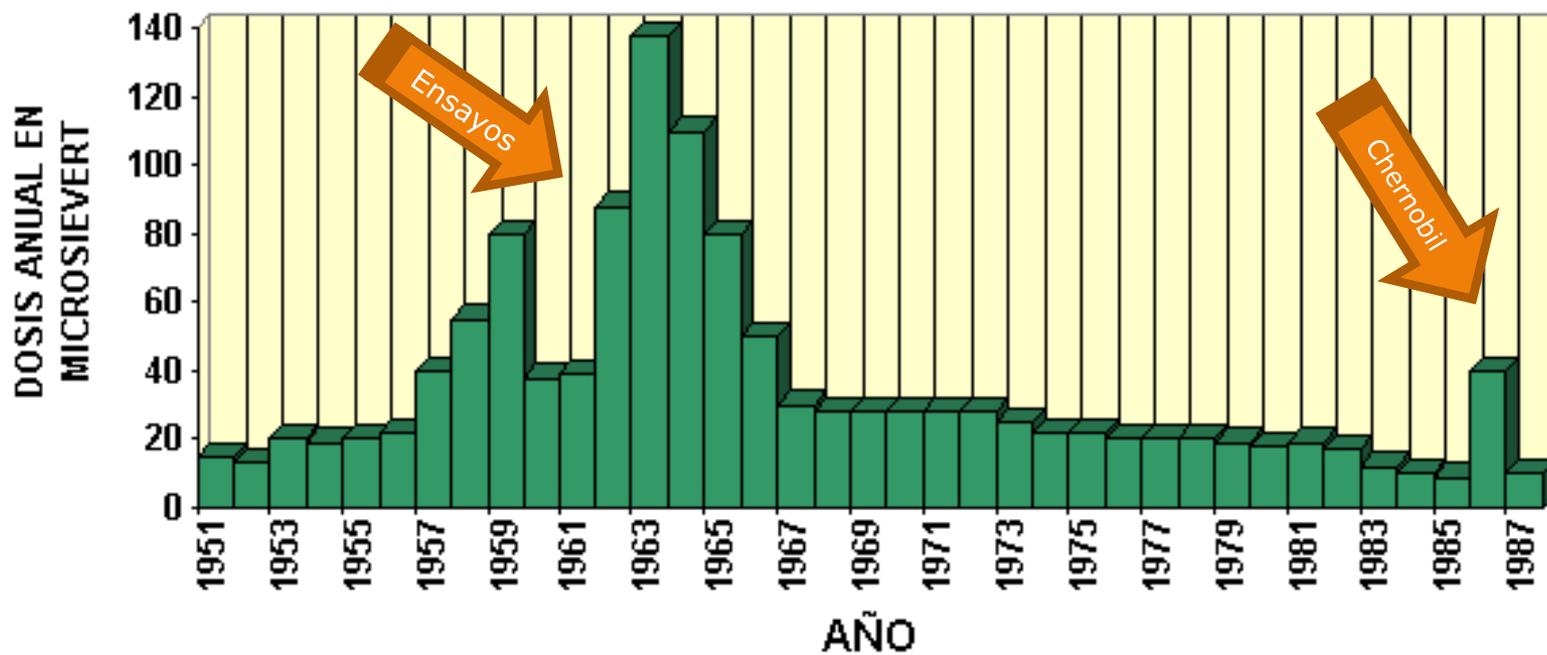
La Unión Soviética 715
(1949 y 1990)

El Reino Unido 45
(1952 y 1991)

Francia realizó **210**
(1960 y 1996)

China 45 (1964 y 1996)

DOSIS ANUAL PROMEDIO POR LLUVIA RADIOACTIVA



Radionucleídos antropogénicos

El advenimiento de la era nuclear junto con el descubrimiento de la posibilidad de liberar energía encerrada en el núcleo, trajo aparejada la producción de nuevos radionucleídos (por ejemplo, el ^{137}Cs y el ^{90}Sr), primero con fines bélicos, luego para la generación de energía y otras aplicaciones.

Usos médicos: diagnóstico, terapia, investigación.

Armas nucleares: - fisión  ^{235}U o ^{239}Pu reacciones en cadena
- fusión de isótopos del hidrógeno se requiere la fisión de ^{238}U

Centrales nucleares: El ^{233}U , el ^{235}U (*ab.isot. 0.7%*) y el ^{239}Pu son tres radionucleídos que cumplen la condición ideal para un reactor.

Accidentes: se liberan a la atmósfera radioisótopos que se diseminan por acción de los vientos. (^{137}Cs , $T_{1/2} = 30$ a).

Residuos: ICRP, International Committee of Radioprotection, ARN

Usos benéficos de la radiactividad



Esterilización



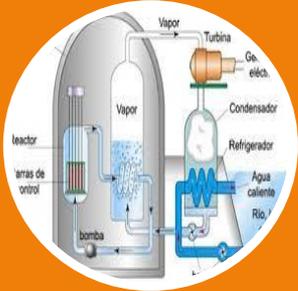
Eliminación
de hongos y
bacterias



Preservación
de alimentos



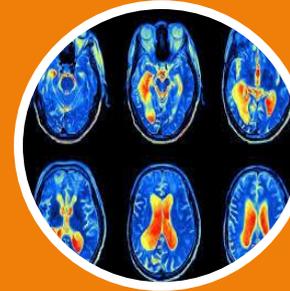
Usos benéficos de la radiactividad



Energía



Gammagrafía industrial



Medicina



Usos benéficos de la radiactividad



Investigación



Datación



Producción
de
radioisotopos



Procesos principales en la industria nuclear

La conversión, el enriquecimiento y la refinación preparan el uranio para utilizarlo como combustible.



Mediante la molienda se extrae uranio del mineral de uranio. Los residuos se convierten en colas que contienen radionucleidos de período largo en concentraciones bajas.



El uranio natural se extrae principalmente mediante minería a cielo abierto o subterránea.

La fabricación de combustible produce varillas de combustible, generalmente de uranio en pastillas de cerámica, que se introducen en tubos metálicos.



Al reprocesar el uranio y el plutonio del combustible gastado se puede reciclarlos como combustible después de su conversión y enriquecimiento.



Los residuos de actividad alta, como el combustible gastado, se envían actualmente a recintos de almacenamiento provisional en espera de su disposición final en emplazamientos geológicos a gran profundidad.



Repositorio geológico subterráneo

Reactores nucleares para la generación de energía o de investigación, donde los núcleos de átomos de uranio se fislan y liberan energía que se utiliza para calentar agua.



El material radiactivo resultante de reacciones nucleares resta eficiencia al combustible. Transcurridos 12 a 24 meses el combustible gastado se elimina del reactor.

Los radioisótopos producidos en los reactores pueden separarse para utilizarlos en la medicina y la industria.



Los residuos de actividad baja y media se eliminan principalmente en vertederos cercanos a la superficie.



Recintos de almacenamiento en la superficie

Profundidad baja e intermedia



Distribución mundial de la exposición a fuentes de radiación

