

## NTP 728: Exposición laboral a radiación natural

Exposition á radiation naturelle pendant le travail  
Working exposure to natural radiation

Vigencia	Actualizada por NTP	Observaciones	
Válida			
ANÁLISIS			
Criterios legales		Criterios técnicos	
Derogados:	Vigentes:	Desfasados:	Operativos: <b>SI</b>

### Redactora:

Adoración Pascual Benés  
Ingeniero Técnico Químico

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

*El RD 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, en su título VII Fuentes naturales de radiación, establece que la autoridad competente con el asesoramiento del Consejo de Seguridad Nuclear requerirá a los titulares de las actividades laborales en las que existan fuentes naturales de radiación, a que realicen los estudios necesarios para determinar si existe un incremento de radiactividad natural en los trabajadores y en los miembros del público que no sea despreciable desde el punto de vista de protección radiológica. En la NTP 614 (apartado 9) se relacionan las actividades en las que trabajadores y público en general pueden estar expuestos a la inhalación de elementos radiactivos como consecuencia de las fuentes naturales de radiación. En la presente NTP se revisan algunos aspectos concretos de esta exposición laboral.*

## Introducción

A diferencia de la radiación ionizante artificial, la natural se consideró durante décadas como un fenómeno normal que existía en la naturaleza, de manera que el hombre estaba condicionado a ignorarla. Aunque en la literatura especializada aparecían ocasionalmente informes en los que se describía la existencia de altas intensidades de radiación en edificios y en ciertas zonas habitadas, eran consideradas como simples curiosidades. A finales de la década de los setenta del siglo pasado, esta forma de pensar cambió, debido a que se tomó conciencia del peligro que la exposición a radiación natural podía representar para la salud, empezándose a realizar y publicar estudios sobre la misma.

Aunque todos los seres humanos están expuestos a radiación natural, esta exposición no es uniforme, dependiendo del lugar donde vivan y trabajen (en la costa o en la montaña), de que sean zonas con rocas o suelos particularmente radiactivos, de su forma de vida, de la utilización de determinados materiales de construcción en sus viviendas, de la utilización del gas natural en sus casas, del uso de calefacción con hogares de carbón y del aislamiento térmico de los ambientes. También los viajes en avión aumentan la exposición a la radiación natural.

Hay que destacar que las radiaciones ionizantes, independientemente de que sean naturales o artificiales (producidas por la actividad humana), interactúan con el cuerpo humano de la misma forma, por lo que no se puede decir que las naturales sean menos o más "dañinas" que las artificiales.

Las fuentes naturales se pueden agrupar en dos importantes categorías:

- **Fuentes externas**, son las provenientes del exterior como la radiación cósmica (del sol y de los espacios interestelares del universo), la radiación terrestre (emitida por las rocas y el suelo), la radiación de algunos edificios (por ejemplo los de granito, que pueden emitir gas radón) y la radiación que contienen algunos alimentos sobretodo aquellos que concentran materia orgánica, como los moluscos.
- **Fuentes internas**, debidas a la presencia en el cuerpo humano de radionucleidos procedentes del medio ambiente que son capaces de ionizar (potasio-40, carbono-14).

En la tabla 1 se resumen las principales fuentes naturales de radiación.

**Tabla 1**  
**Dosis anual de fuentes naturales de radiación**

Fuentes de radiación		Dosis Equivalente efectiva anual ( $\mu\text{Sv}$ )
Rayos cósmicos		380
Radionucleidos cosmogénicos		12
Radionucleidos en la corteza, flora y fauna	Rubidio-87	300
	Potasio-40	6
<b>Serie Uranio-238</b>		
Uranio-238 -Torio-230		145
Radio 226		1200
Radón-222 - polonio-214		50
<b>Serie del torio-232</b>		
Torio-232 -Torio-228		196
Torio-220 - Polonio-212		73
TOTAL		2192

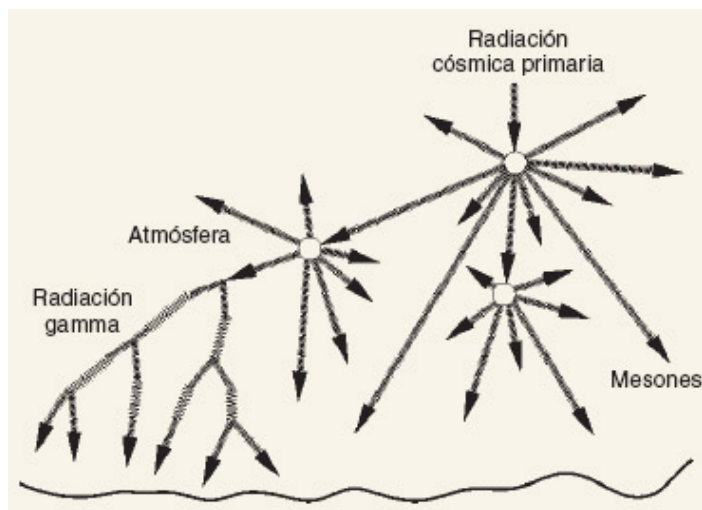
**Nota:** la identificación de isótopos se puede llevar a cabo mediante el símbolo o el nombre del elemento seguido de su peso molecular, como en esta tabla y en el texto, o bien empleando el símbolo del elemento con subíndice y superíndice previos, como en la figura 3. En este caso, el superíndice indica el peso molecular mientras que el subíndice indica el número atómico, común para todos los isótopos de un elemento.

## La radiación cósmica

La radiación cósmica primaria es aquella que se origina en la actividad del sol y la actividad de otras estrellas, está constituida por protones (85%), partículas alfa de energía muy elevada (12%), núcleos pesados (<1%) con energías que varían entre los 1 y  $10^{14}$  MeV, y electrones (2%). Los rayos cósmicos son los responsables de aproximadamente un 30% de la exposición de los seres humanos a la radiación natural externa y algunos son una consecuencia de las tormentas solares.

Cuando pasan a través de la atmósfera interactúan con elementos presentes en ésta originando radiación gamma, electrones, neutrones, mesones y otras partículas energéticas, cuyo conjunto se conoce como radiación cósmica secundaria. De esta forma, la atmósfera actúa como escudo protector de la tierra evitando que lleguen a la superficie partículas de energía más elevada. Ver la figura 1.

**Figura 1**  
**Efecto de la radiación cósmica**



La intensidad de la radiación cósmica es mayor en los lugares más elevados que a nivel del mar y, lógicamente, disminuye

considerablemente en minas profundas.

Una de las poblaciones de trabajadores que están sometidos a la radiación cósmica son las tripulaciones de los aviones. Actualmente se considera que su incidencia es importante a partir de los 15.000 metros de altitud, estando obligadas las aeronaves a llevar equipos fijos de medida cuando se prevea que los vuelos se efectuaran a este nivel o superior. Asimismo, en el RD 783/2001 se indica la obligatoriedad de establecer medidas de protección radiológica en la tripulación de las aeronaves cuando se superan los límites anuales de dosis.

Las personas que viajan en avión, aunque por períodos más cortos, se exponen a dosis superiores a las habituales entre los 4000 metros sobre el nivel del mar, que es la altitud de las poblaciones más elevadas y los 12000 metros, que es el nivel superior de los vuelos intercontinentales, llegándose a multiplicar la exposición a la radiación cósmica por un factor de 25.

## La radioactividad en la corteza terrestre

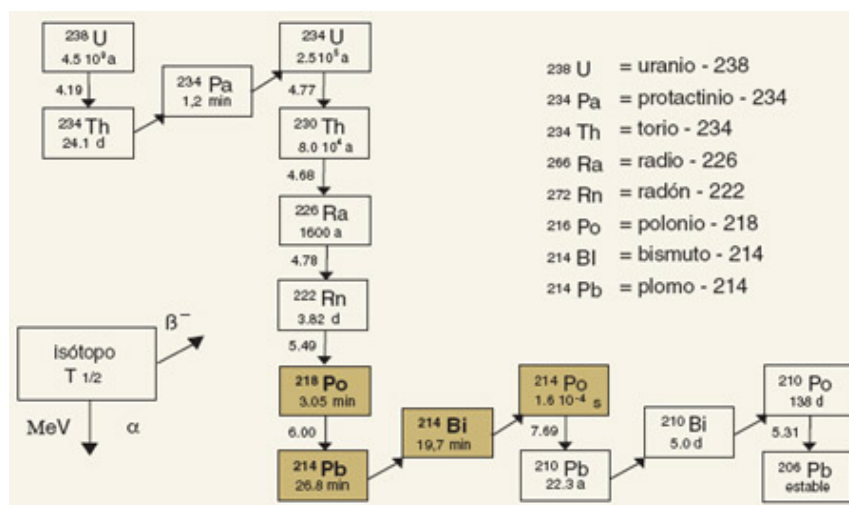
Los elementos radiactivos naturales se encuentran distribuidos en las rocas y suelos de la corteza terrestre, que está constituida principalmente por basalto y granito.

El uranio es uno de los elementos más abundantes en la naturaleza; se encuentra en una proporción 40 veces mayor a la de la plata y 800 veces mayor a la del oro. En la corteza terrestre, los granitos contienen una concentración de uranio que varía entre 2 y 6 ppm y una concentración de torio que, a su vez varía entre 6 y 30 ppm. Existen regiones en las que, que por distintas causas geológicas y geoquímicas, las concentraciones de elementos radiactivos son anormalmente altas, como en los yacimientos de minerales radiactivos donde existen mayores cantidades de uranio y torio.

### Serie del uranio-238

El uranio-238 tiene una vida media muy larga, de cuatro mil quinientos millones de años por lo que, en toda la historia de la tierra, sólo una parte de la reserva original ha tenido posibilidad de desintegrarse. Este isótopo es el origen de una de las series radiactivas naturales, incluyendo el radio y el polonio y acabando el plomo-206 que no es radiactivo. El uranio-238 presente en toda la corteza terrestre tiene una concentración promedio en suelos del orden de 35 Bq kg<sup>-1</sup>. Ver figura 2.

**Figura 2**  
**Serie del U-238. Se destacan los isótopos de vida más corta**



El radio-226, como ya se ha citado, es otro de los elementos radiactivos producto de la desintegración del uranio-238 y su vida media es algo inferior a mil seiscientos años.

El radón-222, de vida media 3,82 días, es un descendiente de los dos anteriores (uranio-238 y radio-226). Se comenta en el apartado 4.

### Serie del torio-232

El torio-232, de vida media de catorce millones de años, encabeza la segunda serie radiactiva conocida como serie del torio cuyo ultimo elemento es el plomo-208 que, al igual que el plomo-206 es estable. Se comenta en el apartado 5.

### Serie del uranio-235

El uranio-235, de una vida media de setecientos millones de años, encabeza una tercera serie radiactiva cuyo último miembro es el plomo-207, que también es un isótopo estable. Ver la figura 3.

**Figura 3**  
**Series radiactivas naturales**

$^{232}_{90}\text{Th}$	$\rightarrow$	$^{224}_{88}\text{Ra}$	$\rightarrow$	$^{220}_{86}\text{Rn}$	$\rightarrow$	$^{208}_{82}\text{Pb}$
$^{238}_{92}\text{U}$	$\rightarrow$	$^{226}_{88}\text{Ra}$	$\rightarrow$	$^{222}_{86}\text{Rn}$	$\rightarrow$	$^{206}_{82}\text{Pb}$
$^{235}_{92}\text{U}$	$\rightarrow$	$^{223}_{88}\text{Ra}$	$\rightarrow$	$^{219}_{86}\text{Rn}$	$\rightarrow$	$^{207}_{82}\text{Pb}$

## El Radón

En cada una de las series radiactivas existe un isótopo del gas noble radón que escapa del material natural y se incorpora a la atmósfera. Estos gases radiactivos son el radón-220, el radón-222 y el radón-219

El radón es un gas inerte y radiactivo de origen natural cuyo impacto radiológico en el hombre es el más importante dentro del conjunto de fuentes de radiación natural. El más abundante de los isótopos radiactivos del radón es el Rn-222 que procede de la desintegración del Ra-226 y a su vez forma parte con éste de la cadena de desintegración del U-238, constituyente principal de la tierra. Ver la figura 3.

Dado que su presencia está en relación a la composición del suelo, su concentración en el aire de un edificio es muy variable en función las características del terreno, los materiales utilizados en la construcción, las condiciones de ventilación, la utilización de productos energéticos (carbón, petróleo, gas), el origen del agua corriente y de los hábitos de vida y trabajo. La exposición a radón de origen natural en espacios abiertos es inapreciable por el efecto dilución. Para mayor información sobre el Radón, consultar las NTP 440 y 533.

La entrada del radón en los edificios se produce básicamente a través de las grietas y conducciones existentes en sus cimientos, aunque la posible presencia de radio en los materiales de construcción puede ser otra fuente de su existencia. La entrada debida al agua o al gas natural es menos importante y solamente debe considerarse cuando las concentraciones de radón en los mismos alcancen valores excepcionalmente altos.

Los átomos del radón son inhalados con facilidad al respirar. Los descendientes, al ser particulados, quedan adheridos a las paredes del sistema respiratorio y las partículas radiactivas que emiten los sucesivos descendientes depositan toda su energía en el tejido pulmonar, pudiéndose desarrollar con el tiempo un cáncer de pulmón. Es por ello que en algunos países, entre ellos Estados Unidos, el radón se considera la segunda causa de cáncer de pulmón, después del tabaco.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) en su borrador de recomendaciones del 2005 confirma los valores máximos de la publicación ICRP-65 como valores límite para el radón-222, que son de 600 Bqm<sup>3</sup> para viviendas y 1500 Bq/m<sup>3</sup> para lugares de trabajo.

Los niveles de acción en la UE son de 200 a 600 Bq/m<sup>3</sup>, para radón en viviendas y 1000 Bq/m<sup>3</sup> en lugares de trabajo, según el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), valores que la ICRP recomienda que deben considerarse como niveles de exclusión, ya que no es susceptible su control.

La Organización Mundial de la Salud, en el documento "Air Quality Guidelines for Europe" del año 1987 revisado en el 2000, da una serie de recomendaciones relativas a la exposición al radón en el interior de las viviendas, considerando que se deberían tomar medidas correctoras sencillas (deberían realizarse medidas de control de la exposición) cuando en el interior de las mismas existan concentraciones medias anuales de descendientes de radón superiores a 100 Bq/m<sup>3</sup>, mientras que las acciones correctivas inmediatas deberían aplicarse en los casos en que dichas concentraciones fueran superiores a 400 Bq/m<sup>3</sup>.

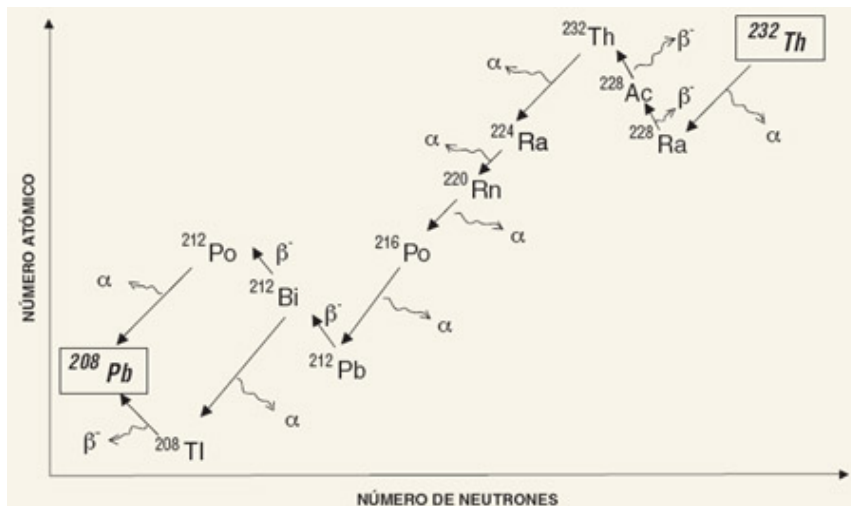
En España, en el Título VII del RD 783/2001, entre las actividades que deben ser sometidas a revisión, se incluyen aquéllas en que los trabajadores y los miembros del público estén expuestos a la inhalación de los descendientes de torón o de radón o a la radiación gamma o a cualquier otra exposición en lugares de trabajo, tales como establecimientos termales, cuevas, minas y lugares de trabajo subterráneos o no subterráneos en áreas identificadas. El Consejo de Seguridad Nuclear está realizando estudios para establecer un valor límite para radón en viviendas edificadas en lugares de trabajo. Ver NotaTécnica de Prevención 614.

## El Torio

El torio es un elemento radiactivo que se encuentra en la naturaleza en combinación con otros minerales como la sílice. Pequeñas cantidades de este elemento se hallan presentes en rocas, suelo, agua, plantas y animales. También se encuentra torio en concentraciones más elevadas en rocas situadas en minas bajo tierra. El suelo contiene un promedio de 6 ppm. El 99% del torio presente en la naturaleza, está en forma de torio-232, tiene una vida media 14 billones de años y entre sus productos de desintegración están el radio y el radón.

Industrialmente tiene diversas aplicaciones, siendo empleado para fabricar cerámicas, cubiertas para linternas de gas, en la industria aeroespacial, como combustible para generar energía nuclear y, como se ha comentado, en la fabricación de electrodos de tungsteno toriado utilizados en la soldadura TIG (soldadura de arco con electrodo de tungsteno y con protección de gas inerte).

**Figura 4**  
**Cadena de desintegración del Torio-232**



Los electrodos de tungsteno toriado, que contienen del 1 al 4% de torio, se utilizan para soldar aluminio y aceros inoxidables y también pueden emplearse para el corte al plasma. Estos electrodos son de naturaleza refractaria, no pueden ser fundidos y su consumo es mínimo, pero son debilitados por el bombardeo electrónico del arco y deben ser periódicamente esmerilados debido a la contaminación del electrodo por el metal en fusión.

En la utilización de los electrodos de torio se producen para el trabajador dos tipos de exposición, una externa y otra interna así como contaminación ambiental y del puesto de trabajo.

### Exposición Externa

Se ha podido demostrar por dosimetría de termoluminiscencia que las dosis por contacto, en este tipo de soldadura, son de  $6,63 \mu\text{Sv/h} \pm 1 \mu\text{Sv/h}$  para electrodos de tungsteno con torio de 4,8 mm de diámetro, siendo estos resultados mas elevados que los teóricos pues no se tenia en cuenta la existencia de una radiactividad lábil en la superficie de los electrodos. De estos estudios y los realizados midiendo con contador Geiger se ha concluido que el riesgo de exposición externa es muy bajo.

### Exposición interna

El riesgo de contaminación pulmonar puede existir tanto en el proceso de soldadura, como en el afilado de los electrodos, siendo en este proceso donde hay mas riesgo de exposición interna.

En los estudios realizados hasta el momento los resultados son dispares, disponiéndose de pocos datos por no existir habitualmente un control de la exposición en el puesto de trabajo ni una vigilancia radiotoxicológica de los trabajadores. Dado que los frotis realizados a nivel de los electrodos han sido positivos, puede producirse también un riesgo de exposición interna por absorción cutánea.

### Contaminación ambiental

En los estudios realizados para analizar la posible contaminación del ambiente por partículas de torio en suspensión en el aire durante el proceso de esmerilado de un electrodo de tungsteno con torio, se ha detectado una gran actividad para el conjunto de los filtros de aspiración situados alrededor del puesto de trabajo, así como en los frotis realizados al nivel del suelo de la muela. Aunque con los resultados obtenidos la exposición de los trabajadores parece baja, es evidente que en este trabajo puede haber riesgo de contaminación radiactiva y deberían adoptarse medidas de prevención.

### Medidas de prevención

Las medidas de prevención fundamentales en este caso son las siguientes.

- Utilización de una amoladora correctamente equipada con aspiración. Emplear vía húmeda y proceso cerrado con recogida del polvo originado.
- Realizar el afilado de los electrodos en una zona aislada con limpieza por aspiración al acabar cada una de las operaciones.
- Durante el proceso, los trabajadores deben utilizar equipos de protección personal adecuados: guantes, gafas de seguridad, mascarilla de protección personal de las vías respiratorias para partículas tipo P3 y, eventualmente, ropa de protección desechable en caso de afilado intensivo.
- Disponer de vestuario doble con ducha.
- Llevar a cabo el almacenamiento de los electrodos en contenedores metálicos y en lugares específicos.
- Recoger el polvo del afilado y las puntas de los electrodos gastadas en un recipiente adecuado. Su eliminación como residuo debe llevarse a cabo de acuerdo con las disposiciones vigentes sobre residuos peligrosos.

### Explotaciones mineras. Fostatos

Existen diversas industrias de minería y procesamiento de metales en cuyos procesos se encuentran elementos radiactivos naturales. A título de ejemplo, se comenta a continuación el caso referente a los fosfatos y fertilizantes obtenidos a partir de ellos.

Los fosfatos son sales o ésteres de ácido fosfórico, arsénico y vanadio, solubles en ácidos minerales, excepto los fosfatos neutros de metales alcalinos que son solubles en agua. La explotación de los fosfatos de manera intensiva en todo el mundo constituye también una fuente de material radiactivo. La mayoría de los yacimientos de fosfato en explotación contienen concentraciones de uranio elevadas, por lo que en el proceso de extracción y transformación del mineral se produce una acumulación de residuos radiactivos por concentración y la liberación de radón.

Los fertilizantes producidos con fosfatos también contienen material radiactivo. Cuando se utilizan como abonos en la agricultura, el potasio-40 y pequeñas cantidades de uranio y sus descendientes radiactivos presentes, son incorporados a las plantas y a través de estas a los alimentos, personas y animales, como es el caso de las plantas de tabaco fertilizadas con fosfatos. Los depósitos acumulativos de fosfoyesos que generan este tipo de industrias pueden producir daños irreversibles de difícil recuperación ya que están impregnados de ácido fosfórico y de otras sustancias que acompañan habitualmente a la roca fosfórica, como arsénico, plomo, mercurio y cadmio, así como elementos radiactivos como el uranio y sus descendientes.

Las vías de entrada en el ser humano de estas sustancias tóxicas presentes en los suelos contaminados por estos residuos son fundamentalmente, la ingestión directa del polvo y alimentos contaminados, inhalación de sustancias volátiles, uso de aguas superficiales y subterráneas afectadas por la contaminación de estos suelos y la vía dérmica.

## Bibliografía

1. REAL DECRETO 1836/1999 de 3.12 (M. Ind. y Ener., BOE 31.12.1999), por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas.
2. REAL DECRETO 783/2001 de 6.7 (M. de la Presidencia, BOE 26.7.2001), por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes
3. ANÓNIMO  
**La exposición a torio radiactivo en soldadura TIG**  
Prevención Exprés, 287, (agosto 1999).
4. ANÓNIMO  
**IV Workshop "Radiación y Medio Ambiente"**  
Universidad de Cantabria, Julio 2005. Santander, 2005
5. COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS.  
**Recomendación de la comisión de 21-2-1990 relativa a la protección de la población contra los peligros de una exposición a radón en el interior de los edificios.**  
(90/143/EURATOM). D.O. C. E. L80,26-28.
6. GARZÓN, L.  
**Radón y sus riesgos.**  
Servicio de Publicaciones, Universidad de Oviedo, Oviedo, 1992.
7. IARC ((International Agency for Research on Cancer)  
**Man-made Mineral Fibres and Radon**  
IARC, Lyon, France, 1998, vol. 43, p. 173-241.
8. INSHT  
**Radiaciones ionizantes: normas de protección**  
Nota Técnicas de Prevención nº 614. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Madrid, 2003.
9. OIEA (Organismo Internacional de la Energía Atómica)  
**Internacional Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and Safety of Radiation Sources**  
Viena, 1994.
10. PHILLIPS, PS., DENMAN, A.R  
**Radon: a human carcinogen**  
Sci Prog 80, 317-336, 1997.