

# Guía

## El gas Radón en el ámbito Laboral

86

**Rn**

Radón

222

555

89909



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRABAJO, MIGRACIONES  
Y SEGURIDAD SOCIAL

FINANCIADO POR:

EI2017-0004



FUNDACIÓN  
ESTATAL PARA  
LA PREVENCIÓN  
DE RIESGOS  
LABORALES, F.S.P.



# Índice

## Introducción

### Conceptos Básicos

1. ¿QUÉ ES LA RADIOACTIVIDAD? **13**
2. ¿QUÉ DIFERENCIA HAY ENTRE EMISORES ALFA, BETA Y GAMMA PROCEDENTES DE UN ELEMENTO RADIOACTIVO? **15**
3. ¿QUÉ SE ENTIENDE POR PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN? **18**
4. ¿QUÉ ES LA IONIZACIÓN? **20**
5. ¿QUÉ ES EL PODER DE PENETRACIÓN? **21**
6. ¿QUÉ DIFERENCIA EXISTE ENTRE IRRADIACIÓN Y CONTAMINACIÓN? **23**
7. ¿QUÉ ES LA DOSIS ABSORBIDA Y EQUIVALENTE? **24**
8. ¿QUÉ MEDIOS DE PROTECCIÓN EXISTEN PARA PREVENIR LA IRRADIACIÓN? **26**
9. ¿QUÉ MEDIOS TENEMOS PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN? **29**
10. ¿EMITIMOS NOSOTROS MISMOS RADIACIÓN HACIA LOS DEMÁS? **29**
11. ¿QUÉ DIFERENCIA EXISTE ENTRE LA RADIOACTIVIDAD NATURAL Y ARTIFICIAL? **30**
12. ¿QUÉ DOSIS RECIBIMOS COMO CONSECUENCIA DE VIVIR EN EL PLANETA TIERRA? **31**

### Fundamentos

13. ¿QUÉ ES EL GAS RADÓN? **33**
14. ¿QUIÉN DESCUBRIÓ EL GAS RADÓN? **34**
15. ¿QUÉ SIGNIFICA QUE EL GAS RADÓN TIENE UN PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN DE 3.8 DÍAS? **35**
16. ¿DÓNDE SE ORIGINA EL GAS RADÓN? **36**
17. ¿CÓMO SE COMPORTA EL RADÓN UNA VEZ FORMADO EN EL SUELO? **37**
18. ¿EXISTEN OTRAS FUENTES DE GAS RADÓN? **42**
19. ¿POR QUÉ AHORA ESTÁ DE "MODA" EL GAS RADÓN? **43**
20. ¿QUÉ HACE QUE EL GAS RADÓN SEA PELIGROSO PARA LA SALUD? **44**
21. ¿QUÉ NIVELES DE RADÓN PUEDEN REPRESENTAR UN PELIGRO PARA LA SALUD? **45**
22. ¿POR QUÉ EL GAS RADÓN SE RELACIONA CON EL CÁNCER DE PULMÓN? **46**
23. ¿CUÁNTAS PERSONAS MUEREN AL AÑO POR LA INHALACIÓN DE GAS RADÓN? **47**
24. ¿QUÉ RELACIÓN EXISTE ENTRE EL GAS RADÓN Y OTRO TIPO DE ENFERMEDADES? **47**
25. ¿EL GAS RADÓN TIENE EFECTOS BENEFICIOSOS? **48**
26. ¿EXISTE UNA RELACIÓN DE LABORATORIOS QUE REALICEN MEDIDAS DE GAS RADÓN? **49**
27. ¿QUÉ DICE LA OMS SOBRE EL GAS RADÓN? **49**

### Glosario 51

### Referencias 55

**Realizado por Laboratorio de Radiactividad Ambiental LaRUC**

**Prof. Luis Santiago Quindós Poncela**

**Prof. Carlos Sainz Fernández**

**Dr. Ismael Fuente Merino, Dra. Alicia Fernández Villar,**

**Dr. Santiago Celaya González, D. Daniel Rábago Gómez,**

**D. Luis Quindós López, D. Enrique Fernández López,**

**D. David López Abascal, D. Jorge Quindós López**

**D. Máximo Gutiérrez Sánchez**

EDITA

Secretaría de Salud Laboral y Medio Ambiente UGT-CEC

DISEÑA e IMPRIME

Blanca Impresores S.L.

Depósito Legal: M-12114-2019



## INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Radiactividad Ambiental (LaRUC) de la Cátedra de Física Médica de la Universidad de Cantabria lleva más de 30 años dedicado al estudio de la radiactividad natural y este hecho nos ha animado a realizar la descripción sobre el gas radón que sigue y que es, de alguna manera, una exposición de los temas desarrollados a lo largo de este periodo.

La **radiactividad** tiene su origen en el suelo y está relacionada con dos grandes áreas de estudio:

- La primera utiliza la radiactividad como medio de conocer el funcionamiento de distintos ecosistemas naturales. Los isótopos radiactivos constituyen excelentes trazadores para el estudio de la evolución de compartimientos y permiten describir procesos propios de la geocronología, de la hidrología o de la dinámica atmosférica, entre otros.
- El segundo área de estudio considera los efectos que producen en el hombre las radiaciones emitidas por los isótopos radiactivos naturales. La existencia de elementos radiactivos en el suelo genera una mezcla de éstos con los tejidos vivos dando lugar a unas dosis constituye la principal causa de irradiación en el hombre, siendo superiores al resto de las causas naturales, radiación cósmica, y muy superiores a los valores promedio de las dosis producidas por causas artificiales. Por esta razón y por afectar a toda la población, la radiactividad natural debe estar incluida en cualquier norma de radioprotección y ser una base de prueba importante de toda teoría en radiobiología.

Las rocas y los suelos de la corteza terrestre contienen concentraciones variables del elemento radiactivo potasio-40 ( $^{40}\text{K}$ ) y de los miembros de las familias radiactivas del uranio, del torio y del actino. Tanto el potasio-40 ( $^{40}\text{K}$ ) como algunos de los elementos de estas series poseen un periodo de semidesintegración suficientemente grande como para que no hayan decaído totalmente desde su formación. La concentración con que aparecen los elementos de las cadenas radiactivas en distintas formaciones geológicas parece ser consecuencia del proceso de solidificación magmática de aquellas. En general, la radiactividad está asociada a formaciones antiguas de rocas intrusivas o ígneas, apareciendo en concentraciones menores en rocas sedimentarias.

La disgregación de las rocas produce suelos de similares características en cuanto a concentración de elementos radiactivos. **La medida de la radiactividad de suelos** se realiza, a partir de muestras recogidas en la superficie que se introducen en un recipiente que se mide por espectrometría gamma en un detector de yoduro de sodio NaI(Tl) o en un detector de germanio (Ge). Utilizando esta técnica, el Laboratorio de Radiactividad Ambiental (LaRUC) ha medido a lo largo de estos 30 años un conjunto de muestras representativas de todo el territorio español obteniendo valores de las concentraciones de los elementos como el radio-226 ( $^{226}\text{Ra}$ ), el torio-232 ( $^{232}\text{Th}$ ) o el potasio-40 ( $^{40}\text{K}$ ).

La desintegración de estos elementos emisores de radiación gamma produce una dosis externa a la que está expuesto el ser humano.

Esta exposición puede medirse directamente colocando un contador, con cristal de centelleo o Geiger, sobre la superficie del terreno. Los valores obtenidos en España permiten deducir una dosis promedio de 0,40 mSv/año, donde se incluye además la irradiación producida por los materiales de construcción que forman las viviendas.

Como resultado de los dos estudios anteriores se obtiene una distribución geográfica de la radiactividad de suelos y rocas que presenta valores mayores en la España de suelos silíceos. En determinados puntos de esta región aparecen concentraciones de elementos radiactivos y dosis externas con valores elevados, comparadas con la promedio a nivel nacional, señalando zonas de alto nivel de radiación natural.

Las tres familias radiactivas naturales poseen en su cadena de desintegración un elemento gaseoso isótopo del radón. El más importante de los tres, por el valor de su vida media, es el radón ( $^{222}\text{Rn}$ ). El  $^{222}\text{Rn}$ , radón, se produce por desintegración del radio-226 ( $^{226}\text{Ra}$ ), elemento de la familia del uranio-238 ( $^{238}\text{U}$ ), y es un gas incoloro e inodoro que se desintegra con 3.82 días de periodo.

El radón-222 se produce en el interior del suelo por desintegración de los átomos de radio-226 ( $^{226}\text{Ra}$ ) contenidos en él. Al igual que cualquier otro elemento sólido, el radio forma parte de la red cristalina de los granos del suelo y el paso del radón generado en aquella a los poros del suelo es un interesante proceso relacionado con la difusión de gases en una estructura cristalina. Su estudio puede realizarse midiendo la llamada emanación de radón, que se hace introduciendo una muestra de suelo de pequeñas dimensiones en un recipiente capaz de medir directamente el radón emanado. Mediante este proceso de la emanación el radón alcanza valores de la concentración elevados en los poros del terreno, típicamente de  $10^4 \text{ Bq} / \text{m}^3$ .

Una vez en los poros, el radón difunde a través del terreno hacia la superficie. En este caso, el proceso es el de difusión de un gas en un material poroso y obedece a la ley de Fick de la difusión. Debido al gradiente de concentraciones existente en el interior del terreno, la difusión da como resultado la exhalación del radón a través de la superficie del suelo.

La medida de exhalación de radón a través de la superficie del terreno puede hacerse utilizando distintos métodos, incluyendo de la determinación directa por acumulación del gas en un recipiente colector. Uno de los métodos más interesantes, es el que se basa en la medida del gradiente de concentración del gas en el suelo. Este puede aplicarse introduciendo un detector a distintas profundidades para medir la radiación gamma por los descendientes de vida corta del radón. Mediante esta metodología se estudia la dependencia de la exhalación de radón con las variables atmosféricas y del suelo, que determinan la magnitud de su transporte. La exhalación de radón de los suelos toma un valor promedio a nivel mundial de 60 Bq/m<sup>2</sup> h.

Las aguas que fluyen por el interior del terreno contienen concentraciones variables de los elementos radiactivos naturales interiores. La concentración de sólidos radiactivos es consecuencia de la disolución de éstos por el agua que, a su vez, depende de factores tales como la temperatura, las características físico – químicas del agua y la solubilidad de cada elemento. De entre los elementos que disuelve el agua uno de los más importantes es el radio-226 (<sup>226</sup>Ra). El radio posee un comportamiento químico similar al del calcio y tiende a acumularse en los huesos cuando es ingerido con el agua, produciendo una irradiación de la médula ósea por las partículas alfa emitidas en su desintegración. La medida de la concentración de radio-226 en el agua se realiza por separación radioquímica y contaje alfa con detector de flujo de gas y da resultados dependientes de la composición del terreno, típicamente de decenas de mBq/l.

El carácter gaseoso del radón hace que su disolución en el agua no obedezca a las mismas reglas sino que está regida por la ley de Henry de la disolución de un gas en un líquido. La concentración alcanzada depende directamente de la presión parcial del gas en contacto con el líquido y, al ser elevada en los poros del terreno, produce concentraciones de radón altas en las aguas subterráneas. Estas concentraciones elevadas no se mantienen en las aguas superficiales ya que el gas se desabsorbe del agua al existir en la atmósfera una presión parcial de radón mucho menor.

**La concentración de radón en el agua** puede medirse encerrando una muestra en un recipiente hasta que el gas alcance el equilibrio con sus descendientes y midien-

do éstos por espectrometría gamma. Las medidas que hemos realizado, indican valores elevados en pozos, particularmente en regiones de alta concentración de elementos radiactivos, y en manantiales de aguas profundas, con concentraciones típicas de  $10^2$  a  $10^3$  Bq/l.

Entre los manantiales de aguas profundas son especialmente interesantes los balnearios radiactivos. En ellos se realiza un tratamiento en el que el radón es visto como agente beneficioso para la curación de determinadas enfermedades. Las dosis que reciben los pacientes en un tratamiento típico pueden ser estimadas mediante modelo, resultando valores moderadamente elevado

Cuando el radón es exhalado por la superficie del terreno para a la atmósfera difundiendo hacia capas superiores. El radón que difunde se desintegra a la vez, produciendo sus descendientes de vida corta, isótopos del polonio, del plomo y del bismuto. Los átomos de estos elementos están cargados en el momento de su formación y se unen a los aerosoles existentes en la atmósfera, difundiendo con ellos de igual manera que el gas.

La difusión del radón y de sus descendientes en la atmósfera cumple la ley de Fick en la que la constante de proporcionalidad entre flujo y gradiente es el coeficiente de difusión por turbulencia. Tanto el radón como sus descendientes pueden usarse como trazadores para determinar coeficiente, o la longitud de mezcla por difusión, que es representativo del intercambio de materia y descriptivo de situaciones de contaminación atmosférica.

**La medida de la concentración de radón en el aire atmosférico** se puede realizar, haciendo pasar un volumen de aire a través de un filtro. Este retiene los aerosoles donde están fijados los descendientes del radón y puede ser medido por espectrometría alfa o gamma. La técnica permite caracterizar las condiciones de difusión de materia en la baja atmósfera incluso por medida de una única concentración en la proximidad del suelo, a partir de la que puede deducirse la altura de una capa de mezcla situada debajo de una capa de inversión térmica. Los valores de la concentración de radón en la atmósfera son del orden de  $1 \text{ Bq/m}^3$  en la proximidad del suelo.

Cuando la exhalación de radón se produce en lugares cerrados o con escasa ventilación, el gas se acumula en el aire de su interior. Así ocurre en cuevas y minas poco ventiladas en las que la concentración de radón puede alcanzar valores elevados. Al igual que en la atmósfera libre, en estas atmósferas confinadas el radón se desinte-

gra produciendo sus descendientes radiactivos que se fijan a los aerosoles del aire. Cuando estos aerosoles son inhalados en la respiración pueden quedar atrapados en distintos tramos del sistema respiratorio, donde la desintegración de los descendientes del radón produce una irradiación de las células epiteliales.

Las dosis de radiación producidas por los descendientes del radón pueden calcularse mediante modelos numéricos de simulación. Los modelos de inhalación de radón simulan la fijación de aerosoles en los distintos tramos del aparato respiratorio, en función del tamaño y de vida de éstos. A continuación, simulan la emisión de partículas alfa por los descendientes del radón fijados a los aerosoles y calculan las dosis depositadas en las células basales del epitelio pulmonar. Como resultado de la aplicación de estos modelos se obtienen dosis elevadas para los valores de la concentración de radón en el aire como los encontrados en cueva.

La evidencia de dosis de radiación para estos niveles de la concentración de radón potenció la realización de estudios epidemiológicos destinados a investigar la relación entre dosis y efectos en las poblaciones expuestas. Estas son las poblaciones de mineros, trabajadores de minas subterráneas de uranio y de otros minerales no relacionados con el radón, y, el efecto observado son afecciones pulmonares, principalmente cáncer de pulmón. Los estudios de cohortes de mineros realizados revelan una correlación entre la frecuencia de aparición de cáncer de pulmón y la dosis recibida, calculada a partir de las concentraciones de radón medidas.

De la misma manera que en el interior de cuevas y minas, el radón se acumula en el aire del interior de las viviendas. Esta acumulación ocurre por transporte del gas desde el suelo hasta la vivienda, a través de grietas o canalizaciones, o por aporte de radón por el agua o los materiales de construcción.

Durante los últimos años se han llevado a cabo campañas de medida de la concentración de radón en las viviendas de distintos países del mundo para conocer tanto valores medios como distribución de valores. Los resultados obtenidos indican que las concentraciones de radón alcanzadas dependen de factores de la edificación y de hábitos de vida, pero, principalmente, del tipo de formación geológica sobre la que se asientan las viviendas. Cuando éstas están construidas sobre terrenos ricos en radio-226 ( $^{226}\text{Ra}$ ) se encuentran valores de la concentración de radón elevado, comparable con los obtenidos en cuevas y minas.

Como parte de los estudios anteriores el Laboratorio de Radiactividad Ambiental (LaRUC) ha realizado varias campañas de medida en España para medir la concen-

tración de radón en el aire del interior de las viviendas. Estas campañas abarcaron todo el territorio nacional y en ellas se utilizaron como técnicas de medidas las basadas en células de centellero y las basadas en detectores de trazas. Mediante las primeras la concentración de radón se mide a partir de una muestra de aire que se recoge en el interior de la vivienda con una célula previamente vaciada. La célula está recubierta interiormente por una lámina de sulfuro de zinc (SZn) y se mide con un sistema de fotomultiplicador y contador. Mediante las segundas se expone un detector sólido en el interior de la vivienda y se cuentan luego las trazas producidas por las partículas alfa del radón. Utilizando estas metodologías, un valor medio de la concentración de radón de  $41 \text{ Bq/m}^3$ , una distribución log – normal de las concentraciones y diversas dependencias con las variables de construcción de la vivienda y con la geología.

Los resultados de los estudios anteriores permiten calcular, por intermedio de los mismos modelos dosimétricos que en el caso de los mineros, las dosis debidas a la inhalación de radón. Este cálculo indica que las dosis promedio debidas del radón son de  $1,5 \text{ mSv/año}$  al total del cuerpo, dosis equivalente efectiva, por lo que el radón resulta ser la principal causa de irradiación natural de la población. A la vez, la existencia de viviendas con concentraciones muy superiores al valor medio, y consecuentemente produciendo dosis de radiación proporcionalmente más elevadas, ha impulsado la realización de campañas epidemiológicas que intentan establecer la relación entre radón y cáncer de pulmón, de las que existen varias en realización en la actualidad.

Cuando las dosis son menores, debe seguirse admitiendo que los efectos que producen las fuentes de radiación naturales son los mismos que a dosis más elevadas, aunque con frecuencia proporcionalmente inferiores. Sin embargo, en este rango de dosis existen problemas metodológicos para la comprobación de los efectos producidos. Estos problemas se derivan de la inexistencia de poblaciones control de frecuencia y de la necesidad de grandes muestras para obtener resultados estadísticamente significativos. Quizás por ello es difícil extraer conclusiones de los estudios de los efectos de las radiaciones en casos como las zonas de alto nivel de radiación donde las dosis son muy elevadas frente al promedio.

Cuando las dosis son las correspondientes a valores medios ambientales, a las anteriores dificultades metodológicas se añade otra de tipo conceptual. En este intervalo de dosis, la consideración de los presumibles efectos nocivos debidos al radón, y a la radiactividad de origen natural, plantea cuestiones como la posible adecuación de la vida a existir en un ambiente en el que se han recibido siempre

estas radiaciones. Ya que esto es así, y sin dudar de que el radón produzca algún tipo de efectos, cabe dudar si éstos son perjudiciales para el hombre o si existe una adaptación óptima a ellos.

En conjunción con las consideraciones anteriores cabe reprochar aquí a la mayor parte de la radiobiología su empeño en el estudio de los efectos nocivos, muerte celular y cancerización, de las radiaciones ionizantes. Estos se producen a dosis de radiación elevadas, pueden ser fácilmente cuantificables y solucionan los problemas clásicos de la radioterapia. Además, pueden extraerse de ellos normas de radioprotección no comprometidas como extrapolaciones para dosis bajas.

Sin embargo, en la irradiación con dosis bajas aparecen efectos que no son extrapolaciones de lo que ocurre a dosis altas. Estos se encuentran tanto en experiencias de irradiación celular como en irradiaciones del hombre moderadamente elevadas, como ocurren en los balnearios radiactivos. Los efectos observados incluyen cambios del flujo de iones a través de membranas celulares. Estimulación hipofisaria y pancreática, estimulación del sistema inmunitario o normalización tensional o de la musculatura lisa, entre otros. Por ello, y una vez conocidos los efectos nocivos del radón a altas dosis, pensamos que dentro del intervalo de las dosis ambientales deben realizarse estudios más completos de irradiación con bajas dosis que especifiquen y cuantifiquen los efectos existentes.

La presente Guía trata de abordar en forma de respuesta a preguntas claves relacionadas con el gas radón con especial interés en su aplicación a la situación laboral. En la misma abordamos una información general sobre radiactividad en orden a entender términos que afectan al gas radón. En todo momento se intenta explicar los conceptos de manera sencilla, pero sin perder el rigor científico. Como complemento a esta Guía se ha elaborado un Manual en el que se recogen aspectos más concretos relacionados con el día a día de la actividad laboral con relación al gas que nos ocupa.



## CONCEPTOS BASICOS

### 1. ¿QUÉ ES LA RADIOACTIVIDAD?

Generalmente, los objetos materiales que nos rodean son inmutables. Así, si el primero de enero colocamos un vaso sobre una mesa y no lo desplazamos ni ocurre ningún accidente, el 31 de diciembre de ese año, el vaso permanecerá en el mismo sitio donde fue colocado. De igual forma, una piedra en nuestro jardín puede mantenerse en la misma posición durante años y años. Consideremos, ahora, una mesa en la que colocamos un martillo y un kilogramo de uranio. Si no ocurre ninguna catástrofe que pueda destruir la mesa, pasados los años volveríamos a encontrar exactamente el mismo martillo. Los átomos que forman parte de él, los del hierro de la cabeza metálica, o los de carbono, oxígeno e hidrógeno de la madera, pueden considerarse, por lo tanto, indestructibles. ¿Qué ocurrirá con el kilogramo de uranio? Aparentemente, el bloque aparecerá intacto, exactamente igual que el primer día. Sin embargo, ha tenido lugar a nivel microscópico una transformación de átomos de uranio en otros elementos químicos diferentes. Por esta razón, se dice que los átomos de uranio son radiactivos. La radiactividad es una propiedad en virtud de la cual algunos elementos, tales como el mencionado uranio u otros como el torio, el radio, o el radón, se desintegran con el paso del tiempo, para dar lugar a nuevos átomos, emitiéndose, al mismo tiempo, en este tipo de procesos radiaciones y partículas de naturaleza diversa procedentes de los núcleos de dichos elementos.

Es decir, **la radiactividad** es la propiedad que presentan algunos núcleos de ciertos elementos químicos de transformarse espontáneamente en otros emitiendo diversos tipos de radiaciones.

La radiactividad producida de forma espontánea en la naturaleza se denomina **radiactividad natural**. Si el proceso se produce como consecuencia de la actividad humana se denomina **radiactividad artificial**.

Periodo	Grupo																	
	1															2		
1	H Hidrógeno															He Helio		
2	3 Li Litio	4 Be Berilio											5 B Boro	6 C Carbono	7 N Nitrógeno	8 O Oxígeno	9 F Fluor	10 Ne Neón
3	11 Na Sodio	12 Mg Magnesio											13 Al Aluminio	14 Si Silicio	15 P Fósforo	16 S Azufre	17 Cl Cloro	18 Ar Argón
4	19 K Potasio	20 Ca Calcio	21 Sc Escandio	22 Ti Titanio	23 V Vanadio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganeso	26 Fe Hierro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cobre	30 Zn Zinc	31 Ga Galio	32 Ge Germanio	33 As Arsénico	34 Se Selenio	35 Br Bromo	36 Kr Cripton
5	37 Rb Rubidio	38 Sr Estroncio	39 Y Ytrio	40 Zr Zirconio	41 Nb Niobio	42 Mo Molibdeno	43 Tc Tecnecio	44 Ru Rutenio	45 Rh Rodio	46 Pd Paladio	47 Ag Plata	48 Cd Cadmio	49 In Indio	50 Sn Estaño	51 Sb Antimonio	52 Te Teluro	53 I Yodo	54 Xe Xenón
6	55 Cs Cesio	56 Ba Bario	57 La Lantano	72 Hf Hafnio	73 Ta Tantalio	74 W Wolframio	75 Re Renio	76 Os Osmio	77 Ir Iridio	78 Pt Platino	79 Au Oro	80 Hg Mercurio	81 Tl Talio	82 Pb Plomo	83 Bi Bismuto	84 Po Polonio	85 At Astatina	86 Rn Radón
7	87 Fr Francio	88 Ra Radio	89 Ac Actinio	104 Rf Rutherfordio	105 Db Dubnio	106 Sg Seaborgio	107 Bh Bohrio	108 Hs Hassio	109 Mt Meitnerio	110 Uun Ununnilio	111 Uuu Ununnilio	112 Uub Ununbicio	114 Uuq Ununquadio	116 Uuh Ununhexio	118 Uuo Ununoctio			
	Lantánidos																	
	6	58 Ce Cerio	59 Pr Praseodimio	60 Nd Neodimio	61 Pm Prometio	62 Sm Samario	63 Eu Europio	64 Gd Gadolinio	65 Tb Terbio	66 Dy Disprosio	67 Ho Holmio	68 Er Erbio	69 Tm Tulio	70 Yb Ytterbio	71 Lu Lutecio			
	Actínidos																	
	7	90 Th Torio	91 Pa Protactinio	92 U Uranio	93 Np Neptunio	94 Pu Plutonio	95 Am Americio	96 Cm Curcio	97 Bk Berkelio	98 Cf Californio	99 Es Eiseinsteinio	100 Fm Fermio	101 Md Mendelevio	102 No Nobelio	103 Lr Lawrencio			

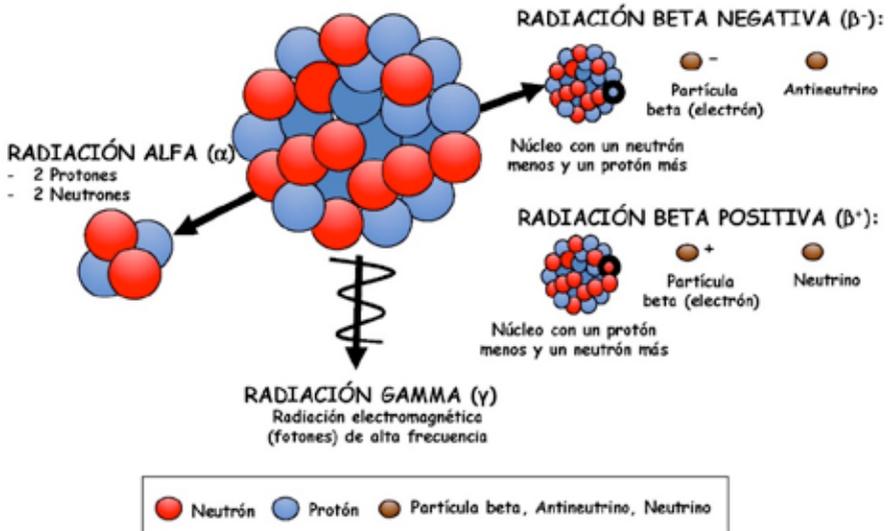
Los elementos que tienen esta propiedad se denominan **elementos radiactivos**; y a las transformaciones que sufren se las conoce como **desintegraciones radiactivas**.

La desintegración radiactiva dará como resultado la emisión de energía en forma de partículas o radiaciones.

## 2. ¿QUÉ DIFERENCIA HAY ENTRE EMISORES ALFA, BETA Y GAMMA PROCEDENTES DE UN ELEMENTO RADIOACTIVO?

La emisión de los diferentes tipos de radiación es un fenómeno que implica al núcleo atómico: el núcleo al sufrir diversas transformaciones nucleares, puede emitir partículas  $\alpha$ ,  $\beta$ , neutrones y rayos  $\gamma$ .

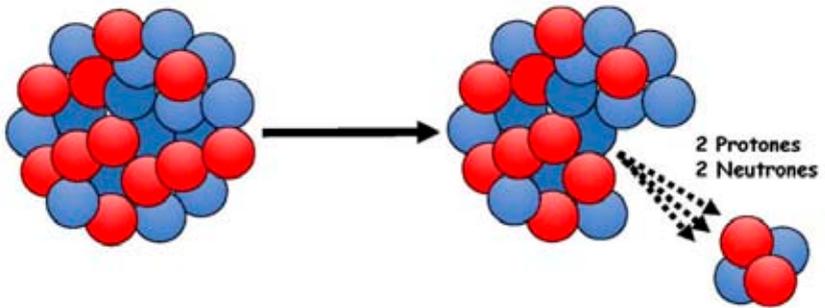
### DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA



### PARTÍCULAS ALFA ( $\alpha$ )

El primer tipo de radiación, la radiación alfa ( $\alpha$ ), formada por dos protones y dos neutrones puede considerarse partícula pesada por lo que se frena en una simple hoja de papel y es desviada tanto por campos eléctricos como magnéticos y tiene una trayectoria corta y rectilínea que en aire puede variar entre 0.6 cm y 10 cm según su energía.

## PARTÍCULAS ALFA ( $\alpha$ )

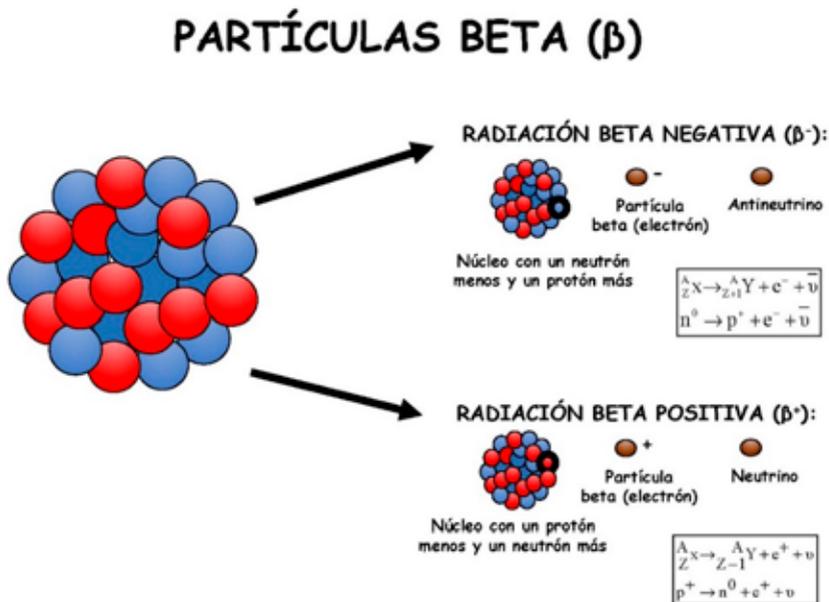


## PARTÍCULAS BETA ( $\beta$ )

Las partículas  $\beta$ , son partículas con masa similar a los electrones.

Necesitan un espesor unas mil veces superior que las partículas  $\alpha$  de la misma energía para ser frenadas.

Por la acción de campos magnéticos se desvían más intensamente que las partículas  $\alpha$ .



### Partículas beta negativa ( $\beta^-$ )

Formada por electrones que escapan del núcleo como consecuencia de la transformación de un neutrón en un protón, con velocidad próxima a la de la luz, ligera de peso con trayectoria no recta, mayor recorrido y penetración en aire y/o medio con el que interaccione.

### Partículas beta positiva ( $\beta^+$ )

Este tipo de partículas se denominan positrones y se forman en el núcleo como consecuencia de la transformación de un protón en un neutrón. Sus características son similares a la del electrón pero con carga positiva.

### RADIACION GAMMA ( $\gamma$ )

Es radiación electromagnética del mismo tipo que los rayos X, ondas de radio o la luz, pero de alta energía (muy corta longitud de onda).

Es una radiación de gran recorrido y poder de penetración: Los rayos solo se detienen al atravesar varios centímetros de plomo.

Esta radiación no es desviada por los campos eléctricos ni magnéticos.

### NEUTRONES (n)

Partícula eléctricamente neutra con una masa similar a la del protón. Debido a su ausencia de carga hace que su poder de penetración sea muy grande. El tipo de interacción depende de su energía.

Podemos concluir, por lo tanto, que las partículas alfa serán especialmente dañinas cuando se encuentren dentro de nuestro organismo como veremos ocurrirá con el caso de nuestro gas radón y descendientes.

## 3. ¿QUÉ SE ENTIENDE POR PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN?

Como se ha explicado anteriormente, la radiactividad es la propiedad que presentan algunos núcleos de ciertos elementos químicos de transformarse espontáneamente en otros emitiendo diversos tipos de radiaciones.

Un núcleo radiactivo (o núcleo inestable) va desapareciendo a medida que transcurre el tiempo, convirtiéndose, en general, en otro distinto que a su vez puede ser inestable o no.

Al cabo de un tiempo, más o menos largo, los núclidos inestables acaban transformándose en un núcleo estable.

Ley de la desintegración radiactiva:

A modo de ejemplo: un átomo inestable (A) se transforma en otro (B) con una constante de desintegración  $\lambda$  característica de cada elemento.

$$N(t) = N(0) * \text{EXP}(-\lambda * t) \lambda$$

Dónde:  $N(t)$  es el número de átomos que quedan de A al final del tiempo  $t$  y  $N(0)$  es el número de átomos iniciales de A.

El periodo de tiempo necesario para que el número de átomos radiactivos se reduzca a la mitad se denomina periodo de semidesintegración  $T$  y el mismo es igual a  $0,692/\lambda$ .

En resumen: el **periodo de semidesintegración** se define como el tiempo en que el número de átomos radiactivos de un elemento se reduce a la mitad.

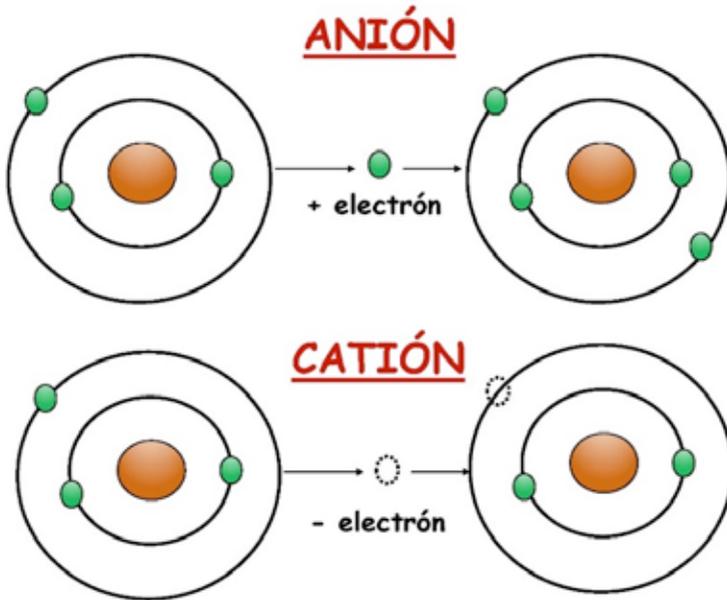
A modo de ejemplo se indican algunos periodos de semidesintegración de elementos radiactivos:

ELEMENTO		PERIODO SEMIDESINTEGRACIÓN
Uranio	$^{238}\text{U}$	4500 millones de años
Radio	$^{226}\text{Ra}$	1600 millones de años
Cesio	$^{137}\text{Cs}$	30 años
Cobalto	$^{60}\text{Co}$	5.2 años
Yodo	$^{131}\text{I}$	8 días

Si comparamos el periodo del uranio con la edad de nuestro planeta, llegaríamos a la conclusión de que en la actualidad tenemos la mitad del uranio que cuando se originó el mismo.

#### 4. ¿QUÉ ES LA IONIZACIÓN?

Se denomina **ionización** al proceso en el cual un átomo pierde su neutralidad eléctrica, debido a la pérdida o anexión de electrones.



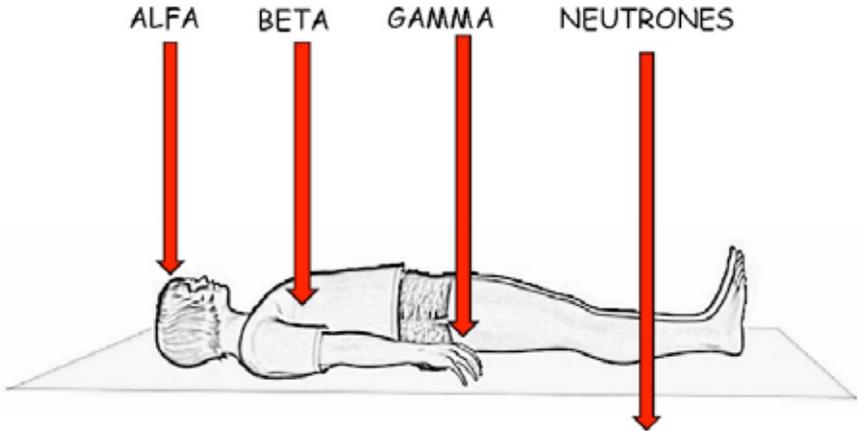
Es el fenómeno físico en virtud del cual como consecuencia de la interacción energética se produce un par de iones con distinta carga, denominándose ion al átomo o molécula que ha perdido o adquirido uno o varios electrones, por lo que será positivo en el primer caso y negativo en el segundo.

Las radiaciones emitidas por los elementos radiactivos producen directa o indirectamente ionización siendo este proceso el que constituye un riesgo para la salud.

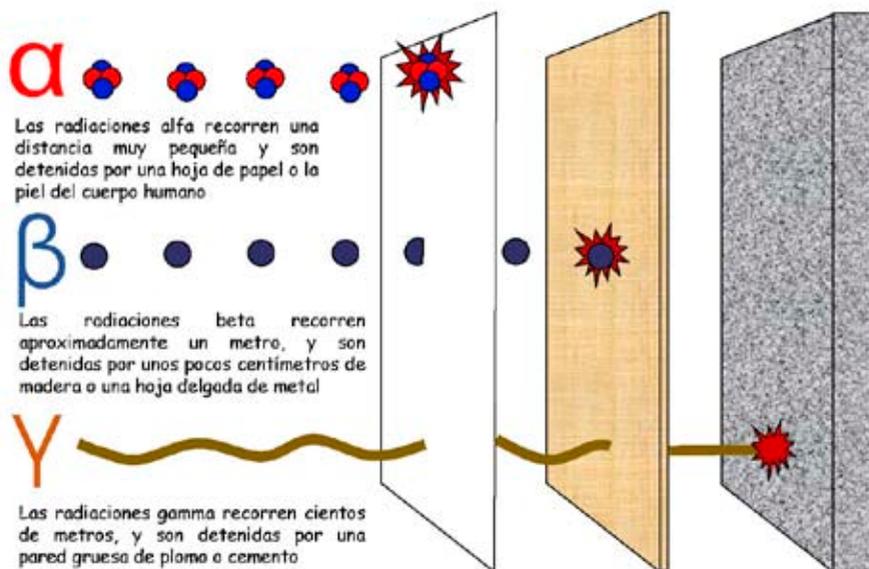
Las partículas alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta^-$ ) ( $\beta^+$ ) producen ionización directa mientras que los rayos X y gamma lo hacen de manera indirecta al ser radiación electromagnética.

## 5. ¿QUÉ ES EL PODER DE PENETRACIÓN?

Cuando los distintos tipos de radiación interaccionan con un medio, el poder de penetración en el mismo depende de las características propias de la misma y lógicamente del medio. De manera genérica podemos decir que las partículas alfa y beta tiene escaso poder de penetración mientras que los rayos X y gamma lo tienen mayor tal y como se muestra en las figuras.



Así por ejemplo una hoja de papel frenaría las partículas alfa, una de aluminio las beta, y necesitaríamos espesores de plomo para detener la radiación gamma. Los neutrones se amortiguan con elementos de bajo número atómico, por ejemplo parafina.



## 6. ¿QUÉ DIFERENCIA EXISTE ENTRE IRRADIACIÓN Y CONTAMINACIÓN?

Entendemos por IRRADIACIÓN cuando la radiación emitida por una fuente radiactiva o equipo de rayos X es recibida por un cuerpo que puede ser vivo y/o no.

Refiriéndonos al ser humano podemos considerar diferentes tipos de **IRRADIACIÓN**:

**EXTERNA**: Cuando la fuente se encuentra fuera de nuestro cuerpo

**INTERNA**: Cuando la fuente se encuentra dentro de nuestro cuerpo. En este caso decimos que se ha producido una **CONTAMINACIÓN** y por lo tanto nosotros nos convertimos en “fuente” radiactiva hasta que la misma no sea eliminada de nuestro organismo tanto por medios biológicos como por desintegración de la misma.

En el caso de nuestro Rn-222, como veremos más adelante, estamos hablando, básicamente, de CONTAMINACIÓN.

### IRRADIACIÓN EXTERNA



Finaliza cuando se detiene la exposición

### IRRADIACIÓN INTERNA (CONTAMINACIÓN)



La sustancia radiactiva permanece en el organismo después de la exposición

## 7. ¿QUÉ ES LA DOSIS ABSORBIDA Y EQUIVALENTE?

La **dosis absorbida** es la energía que deposita la radiación ionizante por unidad de masa del material irradiado, se mide en Gray (Gy) que equivale a 1 julio/1kg. Es por lo tanto una unidad medible físicamente con la instrumentación adecuada.

Sistema Internacional	
<b>Gray (Gy)</b> 1 Gy = 1 julio / kg	1 Gy = 100 rad 1 rad = 0,01 Gy = 10 mGy
Sistema Tradicional	
<b>rad</b>	1 rad = 100 ergios / g

La dosis absorbida requiere especificar el material en que se produce dicha absorción de energía:

$D = f * X$	D=Dosis absorbida en un material
	X=Exposición
	f=factor de relación entre X y D. Aunque está tabulado para diferentes materiales y energías, su valor es de aproximadamente 1 cuando el material irradiado es tejido blando.

La **dosis equivalente** resulta de multiplicar la dosis absorbida por un factor de calidad que depende del tipo de radiación alfa, beta, gamma, rayos X.

Sistema Internacional	
<b>Sievert, (Sv)</b>	1 Sv = 100 rem
Sistema Tradicional	
rem (rem)	

La misma dosis absorbida debida a distintos tipos de radiación, no produce el mismo daño biológico:

$$H \text{ (Dosis equivalente)} = D \text{ (Dosis absorbida)} * W_R$$

Los valores numéricos de  $W_R$  están tabulados en función del tipo de radiación (Publicación nº 103 de ICRP y Publicación nº 60 de ICRP)

TIPO DE RADIACIÓN	FACTOR DE CALIDAD ( $W_R$ )
Radiación Gamma	1
Partículas Beta	1
Partículas Alfa	20
Neutrones	Variable según su energía

Podemos concluir que esta unidad, de amplio uso en RADIOPROTECCION, no es sino una “unidad de gestión”, internacionalmente aceptada pero no medible mediante instrumento físico. Se refleja su valor en Sievert (Sv) y en miliSievert (mSv)

## 8. ¿QUÉ MEDIOS DE PROTECCIÓN EXISTEN PARA PREVENIR LA IRRADIACIÓN?

Si la IRRADIACIÓN es Externa, lo que significa que sabemos dónde se encuentra la fuente de emisión de radiación, la protección contra la misma tiene que ver con tres factores fundamentales:

**DISTANCIA:** Cuando más lejos de la fuente nos encontremos la irradiación será menor siguiendo una ley de inverso del cuadrado de la distancia, es decir que si a un metro recibimos X a dos metros recibiremos X/4, a tres metros X/9 y así sucesivamente.

### ¿Cómo nos protegemos?

Manteniéndonos lo más alejados posible del origen de la radiación

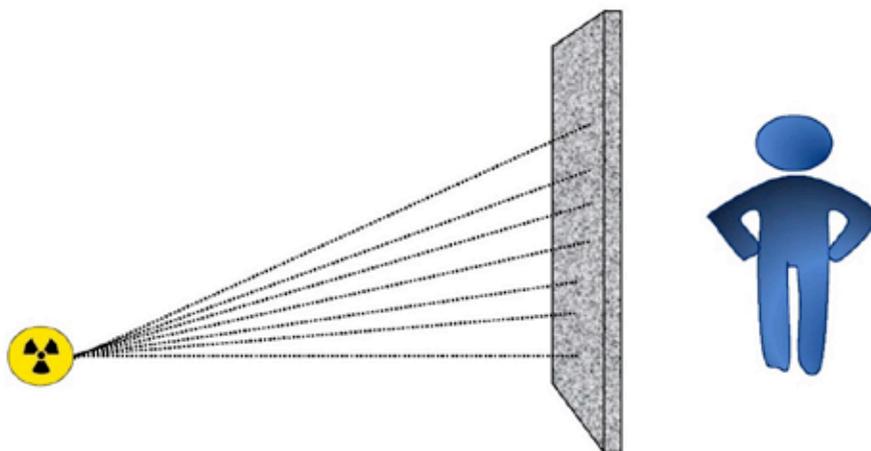


**BLINDAJE:** Si sabemos dónde está la fuente y tenemos que obligatoriamente trabajar próximo a ella, el blindaje que podemos interponer entre la fuente y nosotros hará que la irradiación que recibamos disminuya. Diferentes materiales tienen un espesor de semirreducción que es el espesor del mismo que reduce a la mitad la radiación emitida por la fuente tal y como se muestra en la tabla que se adjunta.

TIPO DE RADIACIÓN	Hormigón (cm)	Hierro (cm)	Plomo (cm)
Rayos X 50 kV	0.60	0.06	0.01
Rayos X 100 KV	1.80	0.15	0.02
Rayos X 300 kV	3.30	1.00	0.15
Rayos Gamma Co-60	6.60	2.20	1.60
Rayos Gamma Cs-137	4.40	1.40	0.90
Rayos Gamma Ir-192	3.70	1.10	0.30

## ¿Cómo nos protegemos?

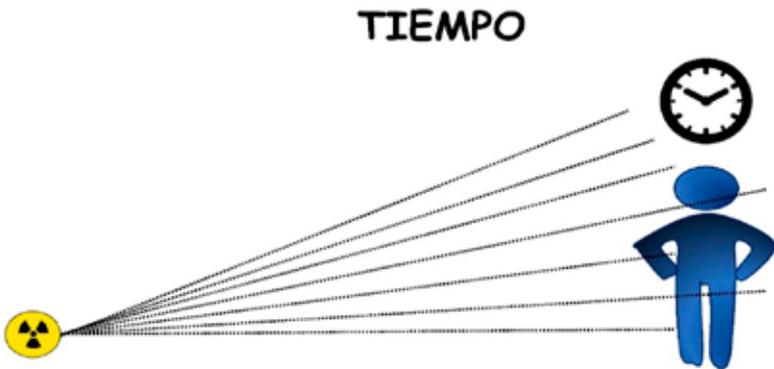
Situándonos detrás de materiales que atenúen la radiación



**TIEMPO:** La dosis que recibimos por irradiación tienen que ver fundamentalmente con el tiempo al que estamos expuestos a la fuente que lo genera. Por eso la limitación del tiempo de exposición es un factor fundamental a la hora de reducir nuestra exposición a las radiaciones

## ¿Cómo nos protegemos?

Permaneciendo el mínimo tiempo posible en las zonas de alta radiación



## **9. ¿QUÉ MEDIOS TENEMOS PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN?**

Resulta mucho más difícil que para el caso de la IRRADIACIÓN EXTERNA, ya que en principio necesitamos saber si, por ejemplo el alimento o la bebida que estamos tomando es o no radiactiva. Lógicamente, si trabajamos con fuentes no encapsuladas, es decir en un laboratorio especializado las medidas de prevención están muy claramente definidas: uso de guantes, mascarillas, vestimenta desechable, protección ocular, etc.

En el caso de nuestro radón, explicaremos más adelante lo complicado que es la prevención para la que jugara un papel importantísimo la evaluación de concentraciones del mismo en el puesto de trabajo y en función de los valores, si bien es posible tomar medidas que reduzcan las mismas, en muchos casos nos vamos a encontrar con que el TIEMPO de permanencia es la llave fundamental.

## **10. ¿EMITIMOS NOSOTROS MISMOS RADIACIÓN HACIA LOS DEMÁS?**

El potasio es un elemento químico básico para la vida y por ello las concentraciones del mismo se han de encontrar en un rango de concentraciones que viene fijado en los resultados de nuestros análisis de sangre. Pues bien, un porcentaje de aproximadamente el 0.011% de, los átomos de potasio son radiactivos, se denomina K-40 y en su desintegración emite radiación gamma de 1.46 MeV. Esta radiación es por lo tanto emitida por nuestro cuerpo de manera constante luego estamos irradiando a lo que nos rodea de manera permanente, si bien la dosis que producimos es muy baja, prácticamente despreciable.

## 11. ¿QUÉ DIFERENCIA EXISTE ENTRE LA RADIATIVIDAD NATURAL Y ARTIFICIAL?

La **radiactividad artificial** se produce de manera artificial mediante bombardeo de neutrones, fotones u otro tipo de partículas nucleares.

En cambio, la radiactividad producida de forma espontánea en la naturaleza en elementos como por ejemplo el uranio-238, torio-232, potasio-40, etc. Se denomina **radiactividad natural**.

Si el fenómeno de radiactividad consiste en la emisión de energía por parte de los núcleos de elementos radiactivos y desde hace 4500 millones de años cuando se formó la Tierra ya existen en la misma elementos como el uranio-238, torio-232, potasio-40, desde ellos se emitirá energía que interaccionará con nuestro organismo, pero este no es capaz de distinguir el origen de la misma.

En resumen: hay que tener en cuenta que el origen de un radionúclido no va a influir en su comportamiento, pues sea natural o artificial obedecerá a las mismas leyes de desintegración.

Por todo ello desde el punto de vista de daño biológico **lo importante serán las características de las radiaciones** a las que estamos expuestos más que si su origen es natural y/o artificial.

## **12. ¿QUÉ DOSIS RECIBIMOS COMO CONSECUENCIA DE VIVIR EN EL PLANETA TIERRA?**

La **radiactividad artificial** es la radiactividad que ha sido producida como resultado de alguna actividad humana. Principalmente la mayor parte de dosis recibida es debida a las exposiciones médicas (30,4%) tales como los rayos X de uso médico, mientras que la dosis debidas a la precipitación radiactiva producida por las pruebas de armas nucleares, la fabricación de radioisótopos, la producción de energía nuclear o a los accidentes nucleares es muy pequeña (< 1%).

La **radiactividad natural** proviene tanto de fuentes extraterrestres (radiación cósmica) como de elementos radiactivos presentes en la tierra (radiación terrestre).

La **radiación cósmica** es el conjunto de partículas procedentes del sol y de otras estrellas, que alcanzan la atmósfera (radiación cósmica primaria), y a las partículas secundarias producidas por interacciones nucleares entre las partículas primarias y los núcleos atmosféricos (radiación cósmica secundaria). Aproximadamente representa el 8,7% del total de la dosis efectiva que se recibe debido fuentes de radiación natural.

La **radiación terrestre** es debida principalmente a elementos como uranio-238, torio-232, potasio-40 que están presentes desde el origen de la formación de la Tierra.

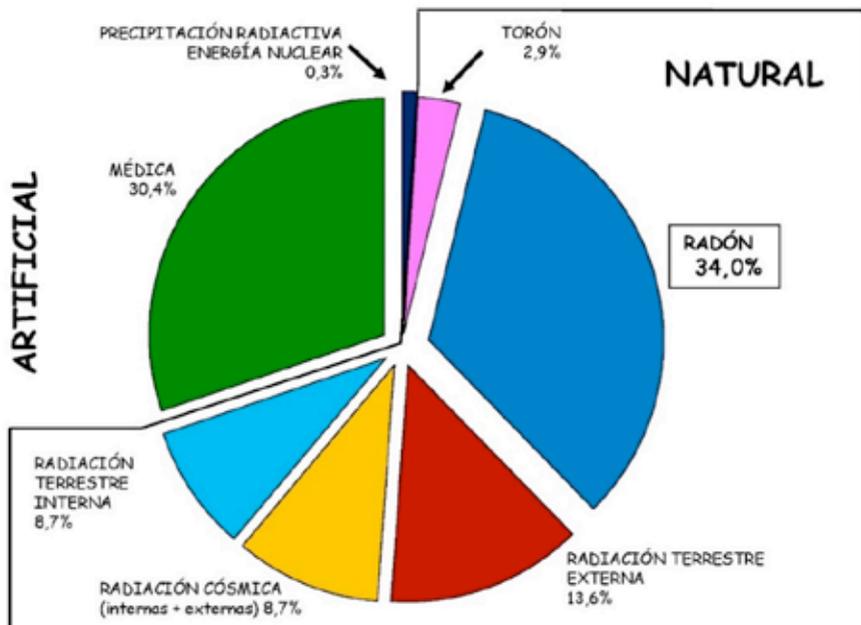
Existen tres grandes cadenas radiactivas de origen natural cuyas cabezas de familia son respectivamente el Uranio-238, Uranio-235 y Torio-232, y en cada una de las tres series aparece un determinado isotopo del gas radón

**El radón objeto de este manual es el Rn-222** procedente de la cadena de desintegración del U-238. Este elemento contribuye aproximadamente al 34 % del total de la dosis efectiva que se recibe el ser humano debido a fuentes de radiación natural.

Según El UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) Las fuentes naturales representan la principal exposición a las radiaciones ionizantes para el público en general.

Un total de aproximadamente 2.8 mSv es la dosis que la población española recibe como consecuencia de la exposición a las fuentes que aparecen recogidas en la gráfica.

Como se observa el radón es, sin lugar a dudas la fuente más importante dentro de las naturales representando prácticamente el 50% de la misma.



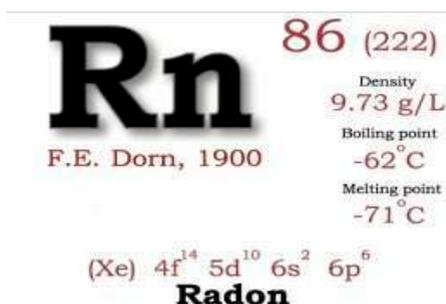
CONTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES FUENTES DE EXPOSICIÓN DE ORIGEN NATURAL Y ARTIFICIAL A LA DOSIS RECIBIDA POR LA POBLACIÓN

## FUNDAMENTOS

### 13. ¿QUÉ ES EL GAS RADÓN?

De acuerdo con la Tabla de Mendeleiev, el radón pertenece a la familia de los gases nobles o gases raros. Este nombre se debe a la ausencia de reactividad química en este tipo de gases. Su estructura atómica es tan estable que no necesitan combinarse con ningún otro elemento químico. El radón tiene esta característica, pero es extremadamente móvil pudiendo atravesar una pared de plástico o madera, empleando más o menos tiempo en ello.

El radón forma parte, pero en muy pequeña proporción de la composición del aire atmosférico que respiramos. Es, además, incoloro, inodoro e insípido. Su solubilidad en el agua es moderada, siendo mayor en compuestos orgánicos como aceite, gasolinas, tolueno, etc. Su símbolo es Rn-222 y/o  $^{222}\text{Rn}$ .



Radón	
Densidad	$9.73 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (a $0^{\circ}\text{C}$ y 1 atmósfera)
Viscosidad	229 micropoises (a $20^{\circ}\text{C}$ y 1 atmósfera)
Coefficiente de difusión en el aire	$10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$

Su concentración se expresa en  $\text{Bq}/\text{m}^3$  siendo Bq: becquerelio, es decir una desintegración por segundo.

## 14. ¿QUIÉN DESCUBRIÓ EL GAS RADÓN?

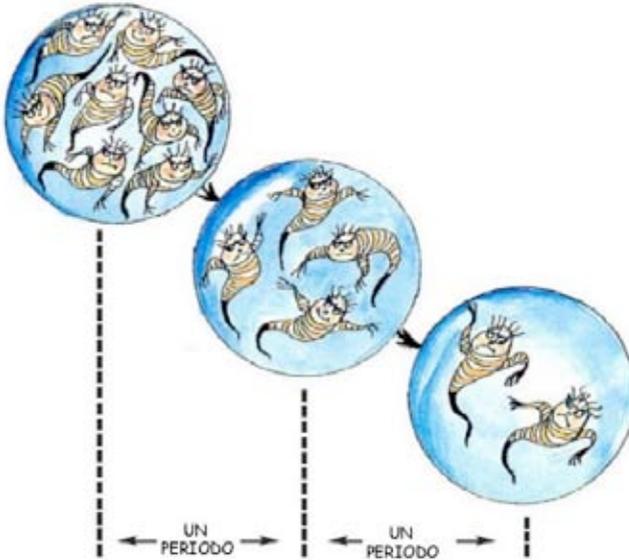
Fue Friedrich Ernst Dorn, un físico alemán quien descubrió que una sustancia radiactiva, más tarde llamada radón, era emitida por el radio.

En 1900, Dorn verificó la observación de Rutherford de que un material radiactivo era emitido por el torio, y descubrió que una emisión similar se presentaba en el elemento radio, también radiactivo.

Dorn llamó simplemente “emanación” al producto gaseoso radiactivo emitido por el radio, pero en 1904 Rutherford introdujo el nombre de “emanación de radio” para el mismo material. Ramsay más tarde sugirió “niton”, de la palabra latina “nitens”, que significa “brillante”. En 1923 el nombre fue cambiado nuevamente, esta vez al nombre definitivo, radón, por un comité internacional de científicos.

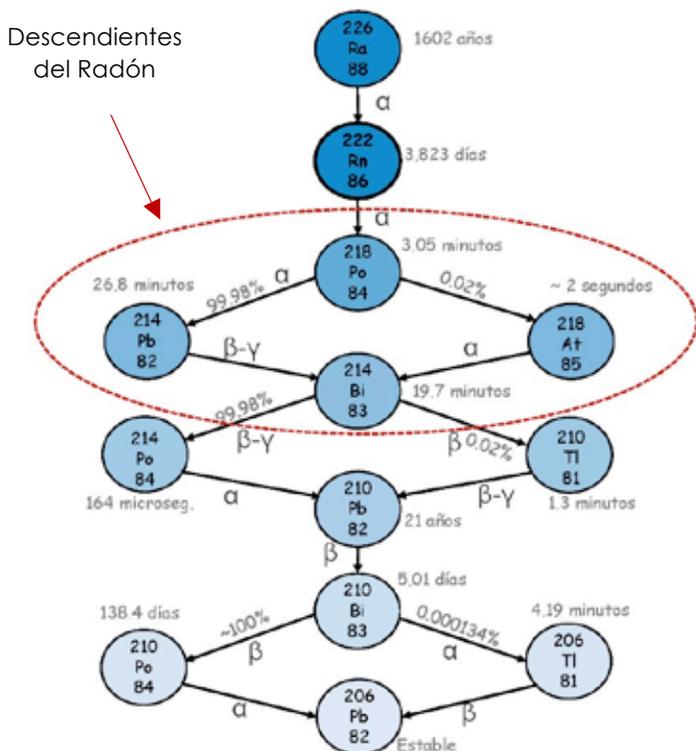
## 15. ¿QUÉ SIGNIFICA QUE EL GAS RADÓN TIENE UN PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN DE 3.8 DÍAS?

Tal como hemos definido el periodo de semidesintegración, 3.8 días será el tiempo transcurrido el cual el número de átomos de gas radón se reduce a la mitad tal y como se recoge en la figura que se adjunta



## 16. ¿DÓNDE SE ORIGINA EL GAS RADÓN?

Existen tres grandes cadenas radiactivas de origen natural cuyas cabezas de familia son respectivamente el U-238, U-235 y Th-232. Todas ellas terminan con la formación de un isotopo estable del plomo, no sin antes producirse una decena de elementos radiactivos en el intermedio. En cada una de las tres series aparece un determinado isotopo del gas radón. El Rn-220 que se encuentra en la familia del Th-232, que tiene también por nombre torón y el Rn-219 que figura en la familia del U-235 que tiene el nombre de actinon, tienen periodos de semidesintegración de 55,6 s y 4 s respectivamente. Nuestro radón, objeto de esta manual-guía es el Rn-222 que figura en la cadena del U-238, procedente del Ra-226 y posee un periodo de 3.8 días y es al que se denomina propiamente **RADÓN**.



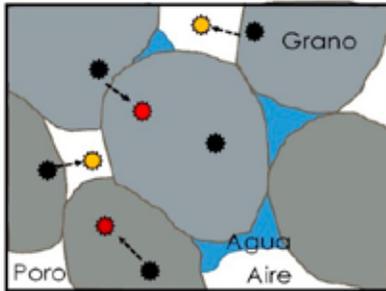
## 17. ¿CÓMO SE COMPORTA EL RADÓN UNA VEZ FORMADO EN EL SUELO?

Como hemos comentado, el uranio está presente de manera natural en los suelos sobre los que nos asentamos. Es un elemento sólido y en su proceso de desintegración aparece el radio, que también es sólido. Ninguno de los dos tiene la posibilidad de desplazarse individualmente si no es junto con la roca o suelo del que forma parte y en este desplazamiento tiene mucho que ver las características de las aguas que circulan en el subsuelo.



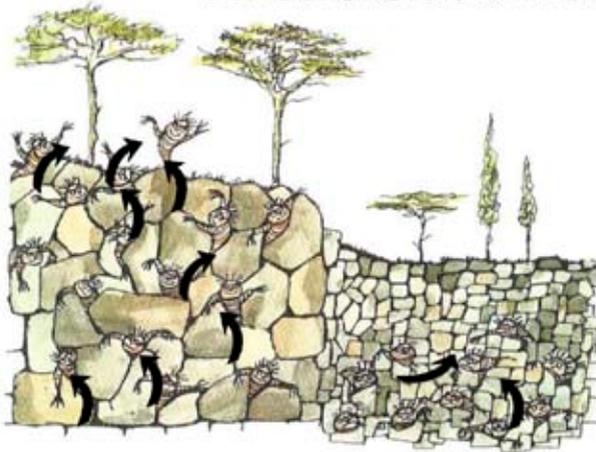
Sin embargo, los átomos de radón que se forman a partir del radio van a poder desplazarse debido a su carácter gaseoso y desintegrarse dando lugar a descendientes, pero este desplazamiento solo será posible si las condiciones de las rocas y el suelo lo permiten.

- Átomo de  $^{226}\text{Ra}$  antes de su desintegración
- Átomo de  $^{222}\text{Rn}$  recién formado
- Átomo de  $^{222}\text{Rn}$  recién formado y emanado



Así, las rocas muy fracturadas o suelos muy porosos van a poner pocas dificultades al desplazamiento del radón y van a permitir que este alcance fácilmente la superficie del suelo y por tanto, al aire exterior. Una vez en este, el enorme volumen de aire de nuestra atmosfera es capaz de diluir el radón y con ello hacer que su concentración sea, en general, sumamente baja en este medio.

## POROSIDAD Y FRACTURACIÓN



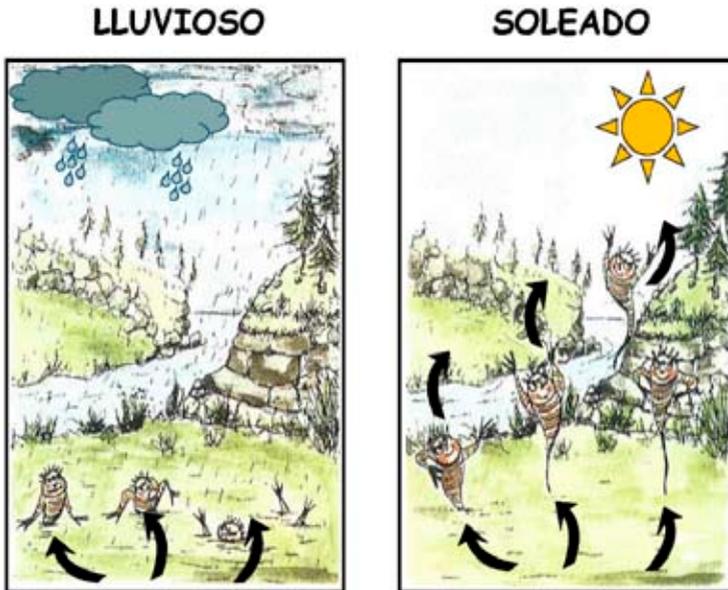
Además de la porosidad ya comentada, la permeabilidad de los suelos, que nos indica la mayor o menor dificultad que los mismos presentan al paso de fluidos, constituye el parámetro más importante a la hora de evaluar el escape de radón del suelo y como consecuencia la mayor o menor cantidad del mismo dispuesta a entrar en los edificios.

Las arcillas, por ejemplo, al contener una concentración de uranio apreciable, son fuentes potenciales de radón. Sin embargo, su carácter impermeable hace que la cantidad de radón que alcanza la superficie sea muy pequeña. Por el contrario, en rocas muy permeables como pueden ser las calcáreas, que tienen un contenido en uranio mucho más baja, el radón se desplaza más fácilmente y pueden alcanzar la superficie del suelo en una mayor proporción.



Los factores atmosféricos también influyen en la cantidad de radón que puede escapar del suelo y alcanzar los edificios. Debido a que el radón es un gas que se disuelve en el agua, durante periodos de fuertes lluvias se saturan los poros del terreno y por ello se acumula en la tierra pudiendo desplazarse grandes distancias disuelto en dicha agua. Todo ello trae como consecuencia una disminución de la cantidad de radón que alcanza la superficie del suelo. Por el contrario, una caída de

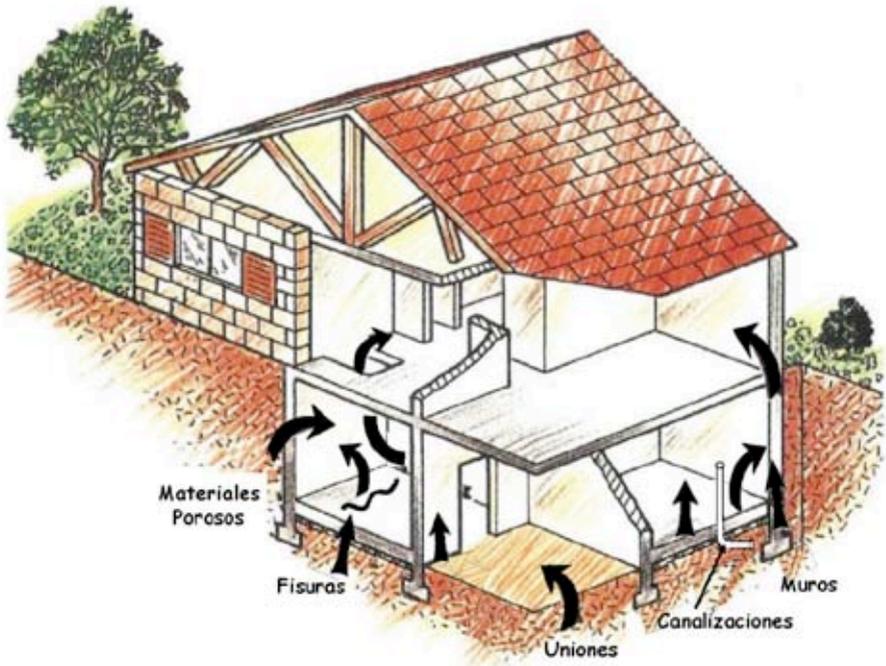
la presión atmosférica provoca una salida suplementaria de radón del suelo debido a un proceso convectivo motivado por la diferencia de presión en la interfase suelo-aire.



Además, las diferencias de temperatura entre el interior del edificio y el exterior son responsables de la existencia de una variación de la concentración de radón a lo largo del día con un máximo a primeras horas de la mañana.

Los mecanismos por los que el radón generado en el suelo alcance los edificios son básicamente el de difusión relacionado con el gradiente de concentraciones, muy elevada en el suelo con relación al aire exterior y uno segundo denominado convección relacionado con la diferencia de presiones que hace que este gas se mueva entre puntos con diferencias de presión del orden de pocos pascales. (1 atmosfera equivale a 101000 pascales). A modo de explicación la figura que se adjunta recoge los principales puntos de entrada en un edificio sea vivienda como aparece o puesto de trabajo.

## VÍAS DE ENTRADA



## 18. ¿EXISTEN OTRAS FUENTES DE GAS RADÓN?

Dado que los materiales de construcción están hechos con material de la corteza terrestre, con un contenido en radio determinado, de los mismos también escapa el gas radón y por lo tanto pueden constituir una fuente de radón en los edificios. Sin embargo este hecho ocurre en una pequeña proporción y casos muy singulares y está en tramitación una Directiva Europea que controla los máximos valores que los materiales de construcción en materia de radiactividad.

Debido a la solubilidad del radón en el agua, al emplear el agua para consumo doméstico, especialmente para la ducha, el radón escapa del mismo y pasa a formar parte del aire que respiramos en dicho edificio. Por ello, existe una Directiva Europea que establece límites para el contenido en radón en las aguas con un valor máximo de 1000 Bq/l. DIRECTIVA 2013/51/EURATOM



## **19. ¿POR QUÉ AHORA ESTÁ DE “MODA” EL GAS RADÓN?**

Los primeros efectos nocivos de las radiaciones derivadas del gas radón fueron observados entre los trabajadores de las minas de uranio. En efecto, uno puede imaginarse una mina con ingentes cantidades de uranio, galerías con pobre ventilación y niveles de radón muy elevados. Sin embargo, será a partir de la Segunda Guerra Mundial cuando la necesidad de tener que emplear el uranio como principal combustible de las centrales nucleares haga que ante el incremento de la actividad minera cobre un auge muy importante y que, con ella, aumente el número de trabajadores expuestos al radón en las galerías de esas minas. Fue, por tanto, el desarrollo de la industria nuclear sobre el que subyace el problema del radón y en ella encontramos igualmente su aparición a la opinión pública.

Hace algunos años en 1985 en Pensylvania, Stanley Watras, iba a la central nuclear en la que trabajaba. Como es la norma, atraviesa los detectores de radiactividad que controlan que ninguna sustancia radiactiva abandone el recinto de la central sin el correspondiente permiso. ¡La alarma salta! .Ningún otro vehículo se encuentra en sus proximidad y una pregunta asalta su mente. ¿Está contaminado? ¡No, es imposible! Él está entrando a la central nuclear. Viene de su casa. Y es verdad, es allí donde ha sido contaminado. El radón presente en la misma, del orden de cientos de veces superior al existente en las minas de uranio, ha contaminado junto con sus descendientes, sus ropas y por ello, lógicamente, la alarma detecta su presencia y salta.

Es este el principio de un interés creciente por el gas radón si bien fue en los Países Nórdicos a principios de los 70 cuando verdaderamente comenzó la batalla contra el gas radón. Allí se planteó cómo construir viviendas con alta eficiencia energética pero además con niveles de contaminación química, incluido el radón, muy bajos, y el resultado fue un éxito.

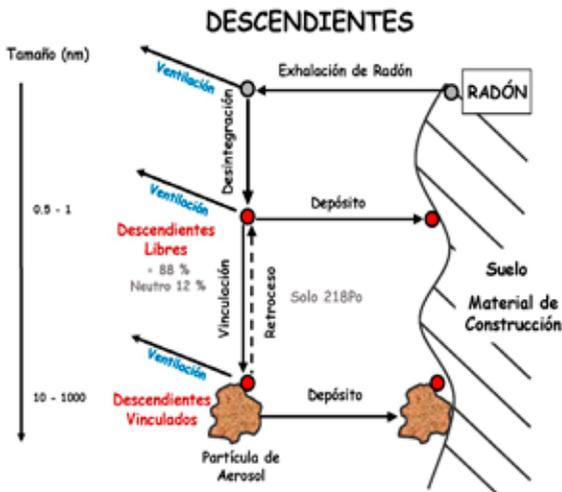
En el momento presente en nuestro país el interés se centra exclusivamente en la eficiencia energética y no tanto en los contaminantes del interior de los edificios. Por ello nuestras viviendas y puestos de trabajo se han convertido en auténticos bunkers donde las concentraciones de los contaminantes pueden alcanzar valores peligrosos y entre ellos se encuentra nuestro gas radón.

## 20. ¿QUÉ HACE QUE EL GAS RADÓN SEA PELIGROSO PARA LA SALUD?

Desde 1988 el radón y sus descendientes están reconocidos como cancerígenos Tipo 1 por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer, IARC. El radón y las partículas alfa que emite por sí mismo no es peligroso para la salud ya que en el proceso de respiración el tiempo que permanece en nuestros pulmones es muy pequeño. Sin embargo, cuando se desintegra da lugar a lo que denominamos descendientes, que también son emisores de partículas alfa, que no son gaseosos sino sólidos y que cuando se forman se vinculan a las partículas de polvo que hay en el ambiente, en especial a las de 0.1 micras. Son esas partículas que en el proceso de la respiración entran en nuestro aparato respiratorio y se depositan a lo largo del mismo continuando allí su desintegración y por ello son estos descendientes los responsables del daño celular y por lo tanto del peligro para nuestra salud.

Evidentemente si no existe gas radón no pueden existir descendientes por lo que podemos decir que el **GAS RADÓN ES UN GAS NOBLE PERO SUS DESCENDIENTES SON UNOS VILLANOS...**

La figura nos muestra un esquema del proceso desde que el radón se produce ya sea en el suelo y/o material de construcción y da lugar a los descendientes.



## **21. ¿QUÉ NIVELES DE RADÓN PUEDEN REPRESENTAR UN PELIGRO PARA LA SALUD?**

Resulta sencillo vaticinar una muerte casi segura para alguien que cae de un pico a treinta metros de altura, pero este fácil diagnóstico no lo es para el caso del gas radón. En efecto, es difícil establecer con exactitud un valor para la concentración de radón que, ciertamente constituya un peligro real para la salud salvo que las mismas sean muy elevadas. Además, en el estudio de efectos no debemos olvidar que algunos daños ocasionados por las radiaciones, las procedentes del radón y descendientes en nuestro caso, pueden ser reparados de manera natural por nuestro organismo.

Pongamos un ejemplo para tratar de entenderlo. Supongamos que usted sale de su casa cada día y atraviesa la calzada con los ojos cerrados. Como se podrá imaginar, no tiene por qué ser atropellado por un coche que pase, ni la primera, ni la segunda, ni la tercera vez que lo haga.

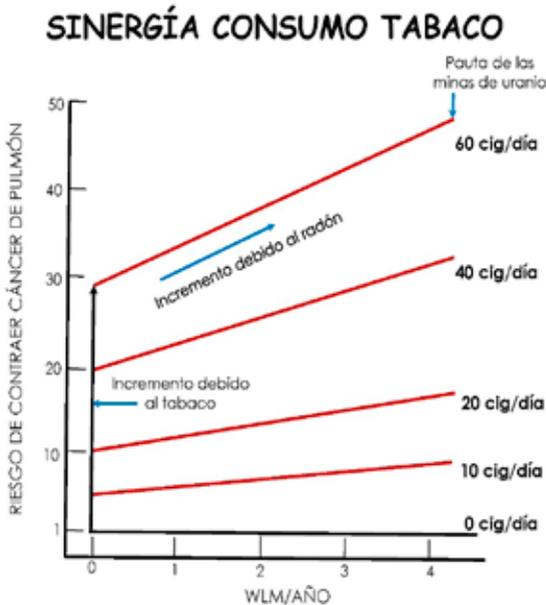


Existirá una cierta probabilidad de ser atropellado, pero será distinta cada vez que intente cruzar dependiendo esta de otros factores tales como el número de coches que circulen a la hora que usted atraviesa la calzada, la anchura de esta, la velocidad a la que cruce la misma, etc. En resumen, no existirá nunca una certeza salvo que continuamente estén pasando coches por esa calzada. Pues bien, lo mismo sucede con el radón y no es el único agente para el que ocurre este fenómeno. Hay muchos viejos fumadores que nunca desarrollaron un cáncer de pulmón a pesar de su elevado consumo de cigarrillos y de que, estadísticamente hablando serán muchos los que terminen padeciéndolo, aunque su consumo haya sido menor.

## 22. ¿POR QUÉ EL GAS RADÓN SE RELACIONA CON EL CÁNCER DE PULMÓN?

Si entendemos el proceso por el cual los descendientes del gas radón penetran en nuestro aparato respiratorio, es fácil entender que el daño celular pueda dar lugar a la aparición del cáncer de pulmón. Este, está inequívocamente relacionado con el hábito del tabaquismo y sabido es que la reducción del consumo de tabaco representaría una disminución en la incidencia del cáncer de pulmón.

La evidencia epidemiológica de correlación entre ambos parámetros se empezó a estudiar en los años 80 estudiando la incidencia del cáncer de pulmón entre los mineros de uranio encontrando entre los mismos una alta incidencia. Posteriormente estudios de casos y controles han venido a demostrar que la correlación está claramente definida y que incluso como muestra la figura, la interacción entre el hábito de fumar y la presencia de gas radón tiene un efecto multiplicativo, tal y como muestra la figura, es decir, se incrementa el riesgo de cáncer de pulmón si se fuma en un ambiente en el que las concentraciones de radón son elevadas.



### **23. ¿CUÁNTAS PERSONAS MUEREN AL AÑO POR LA INHALACIÓN DE GAS RADÓN?**

Según la Organización Mundial de la Salud, entre el 3 y el 14% de las muertes por cáncer de pulmón están relacionadas con el radón. En un Proyecto Europeo denominado RADPAR en el que participó el LaRUC, a través del desarrollo de un modelo matemático con los datos de radón disponibles, se evaluó que dicho número se encontraba en el entorno de los 1500 referido a España, si bien la incertidumbre asociada a dicho valor era considerable.

### **24. ¿QUÉ RELACIÓN EXISTE ENTRE EL GAS RADÓN Y OTRO TIPO DE ENFERMEDADES?**

Si bien existen publicaciones acerca de la relación entre el gas radón y enfermedades tales como leucemia infantil, cáncer de mama, cáncer de estómago y otros tipos hasta el momento presente no se ha confirmado la misma de manera científica en la mayor parte de los casos por no poder establecer el mecanismo fisco-biológico que justificaría la correlación. No obstante, el tema está siendo abordado con mayor intensidad y el futuro nos vendrá a resolver la existencia o no de esta asociación.

## 25. ¿EL GAS RADÓN TIENE EFECTOS BENEFICIOSOS?

Existe documentación científica que muestra que los balnearios con aguas cuyo contenido en radón es elevado son lugares apropiados para el tratamiento de enfermedades como el reumatismo y efectivos para el tratamiento del stress.



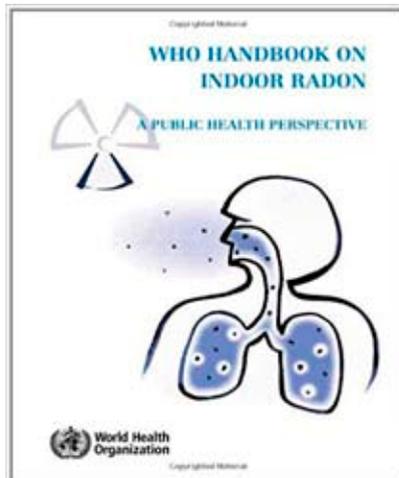
En cualquier caso, los tratamientos son tan cortos que hacen que las dosis recibidas por los pacientes sean prácticamente despreciables. Sin embargo, la desorción del radón el agua aire puede hacer que este alcance concentraciones elevadas y por lo tanto constituir un peligro para los trabajadores de dichas instalaciones que permanecen en las mismas tiempos considerables.

## **26. ¿EXISTE UNA RELACIÓN DE LABORATORIOS QUE REALICEN MEDIDAS DE GAS RADÓN?**

A raíz de la publicación de la Directiva 2013/59 han de ser laboratorios acreditados los que realicen las medidas de radón. El Consejo de Seguridad Nuclear antes de que saliese la Directiva elaboró una Guía 11.01 que abordaba las características exigidas a los laboratorios para poder realizar medidas de gas radón, si bien, el cumplimiento de dicha Guía no significaba una autorización de dicho organismo para dicho laboratorio que la cumpla. En el momento presente en la página [www.csn.es](http://www.csn.es) aparece recogida la relación de laboratorios acreditados, la mayor parte con acreditación fuera de España que han buscado representantes en nuestro país.

## **27. ¿QUÉ DICE LA OMS SOBRE EL GAS RADÓN?**

En 2009 fruto de un proyecto de investigación en el que participaron 33 países, la Universidad de Cantabria y Universidad de Santiago de Compostela por representación española, se elaboró el libro titulado RADÓN: Un problema de salud pública cuya portada se recoge a continuación disponible en español en la web [www.oms.org](http://www.oms.org), que aborda todos los aspectos relacionados con el gas radón. En él se define como objetivo alcanzable para los niveles de radón en viviendas de 100 Bq/m<sup>3</sup> pero hace hincapié en dicho valor puede ser mayor teniendo en cuenta otros aspectos socio-económicos que haga que el mismo no sea posible.





## **GLOSARIO**

**Actividad:** Número medio de desintegraciones nucleares que se producen por unidad de tiempo. Su unidad es el becquerel, representado por Bq. Un Bq es equivalente a una transformación por segundo.

**Átomo:** Es la porción más pequeña de un elemento que puede combinarse químicamente con otros átomos.

**Desintegración:** Propiedad de los elementos radiactivos según la cual la masa del elemento se va transformando en energía radiante y en otros elementos de menor masa

**Dosis absorbida:** Cantidad de energía cedida por la radiación ionizante a la unidad de masa de material irradiado. Su unidad es el gray, que se representa por el símbolo Gy. Un Gy es equivalente a un julio por kilogramo.

**Dosis equivalente:** Cantidad obtenida multiplicando la dosis absorbida por un factor de ponderación de las radiaciones incidentes que tiene en cuenta el distinto daño biológico que las diferentes radiaciones ionizantes producen en los tejidos. Su unidad es el sievert y se representa por el símbolo Sv. El factor para los rayos gamma, rayos X y partículas beta es de 1, mientras que para las partículas alfa es de 20.

**Dosis efectiva:** Cantidad obtenida multiplicando las dosis equivalentes para los distintos tejidos y órganos por el factor de riesgo ponderado correspondientes a cada uno de ellos y sumando los productos. Su unidad es el sievert y su símbolo el Sv.

**Electrón:** Partícula elemental de masa muy pequeña y carga eléctrica negativa.

**Elemento:** Sustancia compuesta de átomos del mismo tipo

**Fisión: fisión nuclear:** Proceso en el cual un núcleo se escinde en dos o más núcleos con liberación de energía.

**Ión:** Partículas, átomo o grupo de átomos con carga eléctrica.

**Ionización:** Proceso por el cual un átomo neutro o grupo de átomos neutros adquieren o pierden carga eléctrica.

**Isótopo:** Núclidos con el mismo número de protones y distinto número de neutrones.

**Neutrón:** Partícula elemental con masa, la unidad de masa atómica y de carga eléctrica nula.

**Núclido o Nucleido:** Especie de átomo que se caracteriza por su número de protones y neutrones.

**Núcleo:** Parte central del átomo, con carga eléctrica positiva, que ocupa poco del volumen de este y contiene la mayor parte de su masa.

**Partícula alfa:** Partícula compuesta de dos protones y dos neutrones. Es emitida por los radionúclidos.

**Partícula beta:** Electrón emitido por el núcleo de un radionúclido. La carga eléctrica puede ser positiva en cuyo caso la partícula beta se denomina positrón.

**Potasio:** Elemento metálico ligero bastante abundante en la naturaleza. El isótopo potasio-40, que representa una pequeña fracción del elemento, es radiactivo.

**Producto de desintegración:** Núclido o radionúclido que se forma como resultado de una desintegración nuclear o de una serie sucesiva de ellas a través de varios radionúclidos.

**Protón:** Partícula elemental con una masa, de aproximadamente la unidad de masa atómica y carga eléctrica positiva unitaria

**Radiación:** Proceso de emisión de energía en forma de ondas o partículas.

**Radiación artificial:** Radiación ionizante emitida por un radionúclido artificial como el cesio 137 o por una máquina, como un aparato de rayos X.

**Radiación ionizante:** Radiación que produce ionización en la materia. Ejemplo de ello son las partículas alfa, beta, los rayos gamma, rayos X y los rayos cósmicos.

**Radiación natural:** Radiación ionizante emitida por elementos de origen natural como el uranio, o por fuentes naturales como el sol.

**Radiactividad:** Propiedad de los radionúclidos de emitir de forma espontánea radiaciones ionizantes.

**Radionúclido:** Núclido inestable que emite radiaciones ionizantes en el curso de su desintegración.

**Radón (Radón-222):** Gas inerte y radiactivo que es producto de la desintegración del uranio-238.

**Rayos cósmicos:** Radiaciones ionizantes dotadas de gran energía procedentes del espacio.

**Rayos gamma:** Energía electromagnética. Sin masa ni carga emitida por un radionúclido.

**Rayos X:** Energía electromagnética. Sin masa ni carga, emitidos por aparatos de rayos X y los átomos en determinados casos.

**Torio:** Elemento radiactivo de origen natural, metálico y muy difundido en la naturaleza. El isótopo más común es el torio 232.

**Torón (Radón-220):** En sentido estricto radón-220, es un producto de desintegración del torio-232.

**Uranio:** Uno de los elementos radiactivos de origen natural, metálico y muy difundido en la naturaleza. El isótopo más común, el uranio-238.



## REFERENCIAS

LaRUC (Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidad de Cantabria)  
<http://www.elradon.com/web/>

Radón: un gas radiactivo de origen natural en su casa.

ISBN: 84-8102-114-8. Edita: Consejo de Seguridad Nuclear. Servicio de Publicaciones. Universidad de Cantabria.1995

Consejo de Seguridad Nuclear [www.csn.es](http://www.csn.es)

Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer. Organización Mundial de la Salud

<https://cancer-code-europe.iarc.fr/index.php/es/doce-formas>

Directiva Europea: 90/143/Euratom. Recomendación de la Comisión, de 21 de febrero de 1990, relativa a la protección de la población contra los peligros de una exposición al radón en el interior de edificios

Directiva Europea: 96/29/Euratom del Consejo de 13 de mayo de 1996 por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes.

Directiva Europea: 2013/59/Euratom del Consejo de 5 de diciembre de 2013 por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom

Directiva Europea: 2013/51/Euratom del consejo de 22 de octubre de 2013 por la que se establecen requisitos para la protección sanitaria de la población con respecto a las sustancias radiactivas en las aguas destinadas al consumo humano

Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. BOE núm. 178, de 26 de julio de 2001, páginas 27284 a 27393

Real Decreto 1439/2010, de 5 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, aprobado por Real Decreto

783/2001, de 6 de julio. BOE núm. 279, de 18 de noviembre de 2010, páginas 96395 a 96398.

Instrucción IS-33, de 21 de diciembre de 2011, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural. BOE núm. 22 de 26 de enero de 2012, páginas 6833 a 6838.

Guía de Seguridad 11.01 del Consejo de Seguridad Nuclear, Directrices sobre la competencia de los laboratorios y servicios de medida de radón en aire Madrid, 27 de enero de 2010.

Publicación nº 60 y nº 103 de ICRP: International Commission Radiological Protection.