



## Documentación

# NTP 440: Radón en ambientes interiores

radón à l'interieur des bâtiments  
radón in indoor air

### Redactora:

M<sup>a</sup> José Berenguer Subils  
Licenciada en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

*En los países industrializados el hombre urbano pasa alrededor del 75% del tiempo en ambientes cerrados y en ciertos casos (niños, enfermos crónicos y ancianos) esta cifra se eleva al 90%. Esto explica el creciente interés que está adquiriendo el conocimiento y estudio de los contaminantes ambientales presentes en interiores, especialmente de aquellos que pueden tener efectos significativos sobre la salud.*

*Desde el punto de vista de la contaminación radiactiva, en los últimos años ha aumentado la preocupación por el peligro que la acumulación de gas radón en el interior de edificios puede representar para las personas que los ocupan.*

*En esta nota técnica se describen aquellas características y propiedades del radón que facilitan su entrada en un edificio y se indican medidas para, si es necesario, reducir su nivel en interiores.*

## El radón y la radiación natural

El radón es un gas radiactivo de origen natural, procedente de la desintegración del radio-226 que se encuentra en una pequeña proporción en el aire que se respira y es el responsable de una fracción de la radiación natural que recibe el ser humano.

La radiación natural forma parte del medio ambiente y sus principales componentes son las radiaciones cósmicas, las procedentes de los radionucleidos, presentes en suelos y rocas, y las de las sustancias radiactivas, que se encuentran en los alimentos, el agua y el aire.

A tenor del efecto que la radiación natural puede tener sobre la población en general se considera que, en promedio, la radiación total a la que el ser humano está expuesto representa una dosis equivalente de un miliSievert (mSv) al año que se corresponde con lo que suele definirse como "fondo radiactivo". Este valor varía de unas zonas a otras. Por ejemplo, las radiaciones cósmicas, procedentes del espacio exterior, aumentan con la altitud y la latitud y, así, el hecho de vivir a 1000 metros de altura significa recibir hasta un 20% más de radiación que si se reside a nivel del mar. Paralelamente, la radiación es superior en los Polos que en el Ecuador. También afecta en el total de radiación la naturaleza del terreno y la presencia en él de determinados minerales, concretamente rocas de fosfatos y el mismo carbón que contienen trazas de materiales radiactivos tales como uranio o radio.

A esta radiación natural hay que añadir el aumento en las dosis de radiación debido a la radiación artificial, principalmente como consecuencia de la aplicación de radiaciones y materiales radiactivos en medicina y también, para la producción de energía, en la industria, la agricultura, e incluso en el control de la contaminación.

En la figura 1 se presenta una estimación de la contribución de las distintas fuentes de exposición, de origen natural y artificial, a la dosis recibida por la población. Destaca la significación que el radón tiene en el conjunto total, ya que este compuesto representa más del 40% de la radiación natural.



**Fig. 1: Contribución de las distintas fuentes de exposición, de origen natural y artificial, a la dosis recibida por la población.**

Durante mucho tiempo existió la opinión de que la radiación natural no tenía un efecto significativo desde el punto de vista de daños para la salud del público en general, pero esta idea cambió totalmente cuando en los años 70 y 80 se evidenció que en el interior de algunas casas y en distintos países el nivel de radón existente significaba concentraciones de varias decenas e incluso miles de  $Bq/m^3$ , lo que indicaba que las dosis recibidas por sus ocupantes eran de algunas decenas de mSv al año. El principal causante de esta situación es el radón, que es el único elemento gaseoso de las cadenas de desintegración radiactivas, por lo que se desplaza con facilidad a partir del punto en que se genera y entra en los edificios.

## Propiedades

El radón es un gas noble, incoloro, inodoro e insípido con una alta densidad. Es soluble en agua y en otros líquidos.

Sus características básicas se indican a continuación: Densidad (0 °C y 1 atm.): 9,73  $Kg/m^3$

Coeficiente de difusión en aire:  $0,1 \cdot 10^{-5} m^2/s$

Viscosidad (20 °C y 1 atm): 229,0 micropoises

Solubilidad en varios medios (20 °C y 1 atm. de presión parcial):

- agua: 230.10 6  $m^3/kg$

- glicerina:  $13,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{kg}$
- aceite:  $29 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{kg}$
- alcohol etílico:  $7,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{kg}$

Se identifica concretamente como radón al isótopo  $^{222}\text{Rn}$  que forma parte de la cadena radiactiva de origen natural del uranio-238, aunque también se encuentran isótopos de Rn en la del torio-232 y del uranio-235, concretamente y respectivamente el  $^{220}\text{Rn}$  o torón y el  $^{219}\text{Rn}$  o actinón. Todas estas cadenas terminan en la formación de un isótopo estable de plomo, tras producir una serie de elementos radiactivos. En la Figura 2 se representa la cadena de uranio-238 y los períodos de semidesintegración de los distintos elementos.

| TIPO DE RADIACIÓN | NUCLEIDO        | PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN  |
|-------------------|-----------------|--------------------------------|
|                   | Uranio-238      | 4,47 miles de millones de años |
| $\alpha$          | torio-234       | 24,1 días                      |
| $\beta$           | protactinio-234 | 1,17 minutos                   |
| $\beta$           | uranio-234      | 245.000 años                   |
| $\alpha$          | torio-230       | 8.000 años                     |
| $\alpha$          | radio-226       | 1.600 años                     |
| $\alpha$          | radón-222       | 3,823 días                     |
| $\alpha$          | polonio-218     | 3,05 minutos                   |
| $\alpha$          | plomo-214       | 26,8 minutos                   |
| $\beta$           | bismuto-214     | 19,7 minutos                   |
| $\beta$           | polonio-214     | 0,000164 segundos              |
| $\alpha$          | plomo-210       | 22,3 años                      |
| $\beta$           | bismuto-210     | 5,01 días                      |
| $\beta$           | polonio-210     | 138,4 días                     |
| $\alpha$          | plomo-206       |                                |

**Fig. 2: Desintegración radiactiva del Uranio-238**

## Efectos sobre la salud

El radón es considerado cancerígeno por la Organización Mundial de la Salud (OMS), de acuerdo con la International Agency for Research on Cancer (IARC) y la Environmental Protection Agency (EPA) de EE.UU., que lo clasifican como carcinógeno del Grupo 1 y del Grupo A, respectivamente. Concretamente, el principal efecto adverso derivado de la inhalación de radón y en especial de sus productos de desintegración es el riesgo de cáncer de pulmón.

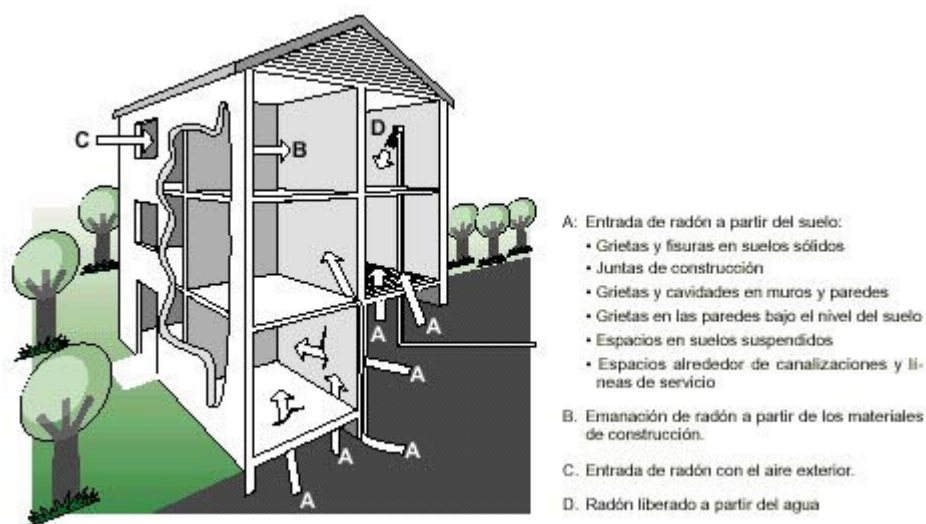
El radón, como gas, no es retenido de forma significativa en el tracto respiratorio. Sin embargo, un 90% de sus descendientes puede estar unido a partículas de aerosoles presentes en el aire, las cuales, en función de su tamaño, pueden ser retenidas a distintos

niveles del sistema respiratorio. Las más pequeñas, la fracción respirable, alcanzará las zonas más sensibles del tejido bronquial y pulmonar, depositándose allí, juntamente con el 10% restante de los productos de desintegración. La deposición de estas partículas, junto con estos productos genera una fuente de emisión de partículas a de alta densidad. En consecuencia, una parte de este tejido recibe una exposición elevada, aumentando la posibilidad de desarrollar un proceso cancerígeno. La dosis recibida en el pulmón por radiación  $\beta$  o  $\gamma$  es despreciable frente a la debida a las partículas  $\alpha$ .

## Fuentes

En un edificio, las principales fuentes de radón son el suelo en el que está asentado y los materiales empleados en su construcción. También puede entrar con el aire de renovación, con el agua de suministro y el gas de uso doméstico, aunque estos últimos, excepto en algunos casos concretos, se consideran fuentes menores. Al tratarse de un gas, su concentración en un ambiente interior depende también de determinadas prácticas y hábitos que favorezcan su acumulación, especialmente la falta de ventilación, acompañada de hermeticidad en la construcción, generadas por políticas de ahorro energético.

En la figura 3 se representan las fuentes más típicas de radón y las rutas de entrada prioritarias.



**Figura 3. Típicas fuentes de radón y rutas de entrada**

## Suelo

En construcciones aisladas o en las plantas bajas de edificios sin sótano, la fuente más importante de radón es el radio presente en el terreno. La concentración de radio en el suelo se halla generalmente entre 10 y 50 Bq/kg, aunque puede alcanzar valores muy superiores. El valor promedio es de alrededor de 40 Bq/kg. Las concentraciones de radón en suelos varían entre 10000 y 50000 Bq/m<sup>3</sup>. En algunos casos, la presencia de radón puede venir, además, aumentada por la existencia en la zona de materiales de desecho procedentes de operaciones realizadas en minas de uranio o de fosfatos.

La cantidad de radón que entra en un interior a partir del suelo depende principalmente de la concentración de radio-226 en el subsuelo y de la permeabilidad de éste.

El radón procedente del terreno y de los materiales pasa al aire interior por difusión

molecular. En una fase inicial, por desintegración del radio existente, se forma una fracción de radón que emana del medio sólido y ocupa los poros existentes pudiendo, a partir de ellos, desplazarse hasta alcanzar la superficie y pasar al aire. Este mecanismo vendrá afectado por la distancia (longitud de difusión) que el radón puede recorrer antes de desintegrarse y que para un suelo normal es de alrededor de 1 m. Este proceso puede ser acelerado por las diferencias de presión existentes entre el gas del suelo y el interior de la casa. A menudo la existencia de mecanismos extractores de ventilación o intercambiadores de aire para calefacción hace que en las habitaciones se generen corrientes de aire y depresiones que favorecen el paso de radón desde el suelo y desde la propia estructura a través de los poros y fisuras existentes, pasando al aire en cantidades importantes, lo que explica las elevadas concentraciones que se han encontrado en algunos interiores.

## **Materiales de construcción**

Los materiales de construcción son, en general, la segunda fuente en importancia de radón en interiores. La emisión de radón a partir de los materiales de construcción depende no sólo de la concentración de radio en los mismos sino también de factores tales como la fracción de radón producido que es liberado del material, la porosidad del material y la preparación de la superficie y el acabado de las paredes. Es frecuente encontrar entre los materiales de construcción productos con un contenido en radio y torio de hasta 50 Bq/kg. Algunos, conteniendo subproductos de yeso y hormigón con alumbre bituminoso, pueden presentar, incluso, concentraciones superiores. También puede ser alta la concentración en ladrillos y hormigón si los materiales básicos se han extraído de zonas con elevadas concentraciones de radiación natural. Ejemplos de algunos materiales naturales utilizados en construcción son las tobas volcánicas y la puzolana. Cuando el contenido en radón de los materiales de construcción es alto el mecanismo de difusión antes comentado es importante ya que por ejemplo para el hormigón la longitud de difusión es del orden de 10-20 cm.

## **Aire exterior**

Por su bajo contenido en radón, el aire exterior actúa normalmente como un factor de dilución. Sin embargo, en algunos casos, en edificios construidos con materiales con un contenido muy bajo en radio el aire exterior puede actuar como un fuente de radón. La concentración de radón en aire exterior está relacionada, principalmente, con la presión atmosférica y en tiempo estable se presentan oscilaciones típicas con los valores más altos durante la noche. Según los últimos datos disponibles el valor medio para el radón es de 10 Bq/m<sup>3</sup> en áreas continentales, algo inferior en las zonas costeras y sobre los océanos de aproximadamente 0.1 Bq/m<sup>3</sup>.

## **Agua de consumo**

La utilización para uso doméstico de aguas subterráneas con una elevada concentración de radón puede significar, al liberarse éste, un aumento de su concentración en aire, especialmente en cuartos de baño donde al estar el agua caliente y en movimiento el proceso de liberación queda favorecido. En algunas regiones del planeta en las que el agua utilizada procede de pozos perforados en rocas con una elevada concentración de radón se ha demostrado que el nivel de radón en agua puede llegar a valores entre 100 kBq/m<sup>3</sup> y 100 MBq/m<sup>3</sup>. El valor medio mundial de radón en el agua de consumo se considera que es de 10 kBq/m<sup>3</sup>.

## Gas de uso doméstico

En algunas zonas el gas natural utilizado para cocinar y para calefacción contiene elevadas concentraciones de radón que se liberan al quemarlo. Generalmente ésta no es una fuente significativa siendo además muy variable en función de los cambios en el suministro de combustible.

## Metodología para la medición del radón en interiores

Para determinar la concentración de radón y de sus descendientes en aire pueden utilizarse distintos métodos. La elección entre unos u otros vendrá condicionada por el instrumental disponible, por el coste y por la duración de la medida a efectuar. En general la medida de la concentración de radón presente en un ambiente determinado se basa en el recuento de partículas emitidas tanto por él como por sus descendientes de vida corta. Unos pocos métodos se basan en la detección de rayos  $\gamma$  y también existen algunas técnicas que detectan radiaciones  $\beta$ .

Es importante en la práctica distinguir si el método utilizado mide la concentración de gas radón o mide la concentración o alguna otra característica de los productos descendientes de radón. En ambos casos las técnicas pueden clasificarse como activas o pasivas según se emplee o no aire forzado para la captación de la muestra.

Es posible distinguir, en función del tiempo de muestreo, entre las tres metodologías siguientes:

- **Métodos instantáneos**

Las determinaciones se realizan a partir de muestras de aire recogidas durante cortos períodos de tiempo, generalmente entre 1 segundo y 20 minutos. Permiten utilizar instrumental sencillo de bajo coste y se obtienen resultados rápidos. Sin embargo, dado el carácter puntual de la medida hay que ser cuidadoso al elegir las condiciones para que los resultados obtenidos sean representativos de una situación promedio dentro del estudio a realizar. En general estos métodos se utilizan para realizar barridos generales, estudios para identificar rutas de entrada de radón a partir del suelo o para comprobar la eficacia de acciones correctoras.

- **Métodos de lectura continua**

Se hace pasar un flujo constante de aire a través de un detector adecuado durante largos períodos de tiempo, evaluándose continuamente la concentración. Son métodos que proporcionan mucha información pero resultan caros y están limitados a tareas de investigación. Son imprescindibles para estudiar las fluctuaciones en tiempo real de las concentraciones ya que permiten obtener información sobre la relación existente entre las actividades realizadas y el edificio; por ejemplo, el estudio de las variaciones de concentración a lo largo del día o según las estaciones.

- **Métodos integrados**

Utilizan dispositivos que permiten obtener información sobre concentraciones promedio durante un tiempo que puede llegar a días, semanas o meses. Son los métodos menos caros y los más utilizados ya que son los más adecuados para estudios de inspección y reconocimiento y los que permiten, en muchos casos, decidir sobre la conveniencia de tomar acciones correctoras tras efectuar medidas

de, por lo menos, tres meses de duración. En general los sistemas utilizados son de tipo pasivo.

Entre los equipos y dispositivos utilizados con más frecuencia para las mediciones de radón y de sus descendientes destacan:

- **Células de centelleo**

Pueden tener distintos tamaños y consisten en cilindros metálicos, con un extremo transparente, que están recubiertos en su interior por una capa uniforme de sulfuro de cinc activado con plata que da respuesta frente a las partículas  $\alpha$ . Las muestras de aire se introducen en su interior, previo vacío, y tras alcanzarse el equilibrio se mide el número de destellos de luz con un tubo fotomultiplicador para determinar la concentración de radón en el aire.

- **Detectores sólidos de trazas**

Son sistemas pasivos que se basan en el uso de materiales tales como láminas finas de nitrato de celulosa o policarbonato que tienen la propiedad de que en ellos quedan impresionadas las trazas debidas a las radiaciones  $\alpha$  emitidas por el radón y sus descendientes después de un tiempo de exposición. Estas huellas o trazas visibles pueden identificarse y contarse mediante sistemas de microscopia, siendo su número proporcional a la concentración existente durante el tiempo de exposición, proporcionando un valor promedio de la concentración de radón.

- **Detectores de carbón activo**

Son también sistemas pasivos, muy simples, basados en la capacidad del carbón activo para retener el radón. Los tiempos de muestro empleados varían entre dos y siete días y el nivel de radón se establece, en este caso, midiendo la radiación  $\gamma$  emitida por el carbón activo con un detector adecuado, como el de yoduro sódico.

En el cuadro 1 se presenta de forma esquemática el modo más generalizado de aplicación de estos tres tipos de detectores de radón.

**Cuadro 1: Aplicabilidad de los detectores de radón más usuales**

| DETECTOR                  | MÉTODO INSTANTÁNEO | MÉTODO CONTINUO | MÉTODO INTEGRADO | MÉTODO ACTIVO | MÉTODO PASIVO |
|---------------------------|--------------------|-----------------|------------------|---------------|---------------|
| Célula de centelleo       | SÍ                 | SÍ              | -                | SÍ            | SÍ            |
| Detector de trazas        | -                  | -               | SÍ               | -             | SÍ            |
| Detector de carbón activo | -                  | -               | SÍ               | -             | SÍ            |

## Medidas para reducir el nivel de radón en interiores

Es difícil dar reglas generales aplicables a todas las situaciones en que pueda existir radón en un interior ya que la experiencia está demostrando que no hay dos edificios iguales y

que las medidas a tomar dependerán del tipo de edificio, de su construcción y de la utilización que se le dé. Sin embargo, en líneas generales, las principales acciones que podrían tomarse para limitar la entrada y/o el nivel de concentración de radón serían las siguientes:

- **Depresurización** del espacio entre el suelo del edificio y el terreno para reducir la entrada de radón.
- **Aumento de la tasa de ventilación** del edificio para facilitar la eliminación de radón. Este es uno de los métodos más asequibles pero hay que evitar que se generen depresiones en el edificio que pueden tener un efecto contrario.
- **Recubrimiento** de los elementos (suelo y/o paredes) que presenten una emisión de radón elevada y así reducir la acumulación de radón en el interior del edificio.

La aplicación de otros procedimientos generales habitualmente utilizados para reducir la presencia de un contaminante presenta dificultades en el caso del radón. Por ejemplo, los sistemas de tratamiento del aire aplicables en minería e industria no lo suelen ser en aire interior por los elevados volúmenes de aire a manejar y al tipo de entorno. Asimismo, respecto a la eliminación de las fuentes, uno de los pocos casos podría ser el actuar sobre el agua de suministro, con todas las dificultades que esto implicaría.

## Guías y valores de referencia

Dado que el radón está presente de forma natural en el medio ambiente y que, al mismo tiempo es un cancerígeno humano para el cual no existe un nivel de riesgo cero, el establecimiento de niveles de acción a partir de los cuales tomar medidas correctoras es complejo y difícil.

Como resultado de ello, los valores existentes en distintos países son consecuencia de su problemática particular, sus posibilidades y de la sensibilidad pública existente. Para los edificios de nueva construcción la tendencia general es recomendar el seguimiento de códigos o prácticas de construcción, adaptadas a las características de cada lugar, que limiten el nivel de radón.

En 1990 la Comisión de la Comunidad Europea, basándose en un informe presentado en 1987 por un grupo de trabajo de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) recomienda limitar la concentración media anual de gas radón a 400 Bq/m<sup>3</sup> en edificios ya existentes y a 200 Bq/m<sup>3</sup> en las nuevas construcciones.

En Estados Unidos, la EPA recomendó en 1986 tomar los 150 Bq/m<sup>3</sup> como el valor a partir del cual deben realizarse una serie de intervenciones graduales, estableciendo los períodos en que debe lograrse su reducción (años, meses o semanas).

La OMS estableció en 1987 su recomendación teniendo en cuenta la exposición a productos descendientes de radón, expresada como concentración equivalente de radón (EER), y proponiendo 100 Bq/m<sup>3</sup> EER de promedio anual como valor a reducir y 400 Bq/m<sup>3</sup> EER para una actuación inmediata. Las construcciones nuevas no deben superar los 100 Bq/m<sup>3</sup> EER.

La ICRP adoptó en 1993 una nueva recomendación en la que propone, para los edificios existentes con concentraciones entre 200 y 600 Bq/m<sup>3</sup>, actuaciones en función del nivel



de concentración. En este mismo documento también se proponen niveles de referencia para puestos de trabajo en los que existe poca ocupación, por ejemplo oficinas, bibliotecas y teatros. Se proponen valores entre  $500 \text{ Bq/m}^3$  y  $1500 \text{ Bq/m}^3$ . Estos valores difieren de los establecidos para residencias, ya que como es habitual, se ha considerado que en el ámbito laboral el tiempo de exposición es más corto y se asume una sensibilidad diferente frente a la radiación entre la población general y la trabajadora.

## Bibliografía

(1) BERENQUER SUBILS, MJ.

### **Indoor air quality: radón**

Ilo Encyclopaedia of Occupational Health and Safety. 4ª Edición. Ginebra, (en prensa).

(2) COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS.

### **Recomendación de la Comisión de 2121990 relativa a la protección de la población contra los peligros de una exposición a radón en el interior de edificios**

(90/143/Euratom). D.O.C.E. L80, 2628.

(3) CSN (Consejo de Seguridad Nuclear)

### **Dosis de Radiación**

CSN, Madrid, 1992

(4) EPA (U.S. Environmental Protection Agency).

### **The Risk Assessment Guidelines of 1986.**

Office of Health and Environmental Assessment, EPA/600/887/045, 1987.

(5) EUROPEAN COLLABORATIVE ACTION.

### **Report No 15. radón in indoor air.**

European Commission, Luxemburgo, 1995.

(6) ICRP (International Commission on Radiological Protection).

### **Lung cancer risk from indoor exposures to radón daughters.**

ICRP Publication 50, Annals of the ICRP 17 (1), Pergamon Press, Oxford, 1987.

(7) ICRP (International Commission on Radiological Protection).

### **Protection against radon<sup>222</sup> at home and at work.**

ICRP Publication 65, Annals of the ICRP 23 (2), Pergamon Press, Oxford, 1993.

(8) MARQUÉS MARQUÉS, F., BERENQUER SUBILS, MJ.

### **Radón, ¿riesgo real para la salud pública?.**

Mapfre seguridad, primer trimestre 1994, vol. 53, p. 2531.

(9) OMS (Organización Mundial de la Salud).

### **Air quality guidelines for Europe.**

Oficina Regional para Europa, Copenhague, 1987.

(10) QUINDÓS PONCELA, LS.

### **Radón. "Un gas radiactivo de origen natural en su casa".**

Ed. Consejo de Seguridad Nuclear y Serv. Publicaciones de la Univ. de Cantabria. Madrid, 1995.

**Advertencia**

© INSHT