

# GESTIÓN DE RIESGO. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

## *RADON RISK MANAGEMENT. CONSTRUCTION SOLUTIONS*

**Borja Frutos Vázquez y Manuel Olaya Adán**

Departamento de Habitabilidad, Energía y Medio Ambiente. Instituto de Ciencias de la Construcción  
Eduardo Torroja (IETcc) - CSIC

### RESUMEN

El gas radón es un elemento radiactivo que se presenta en la naturaleza por la desintegración del radio contenido en los suelos terrestres. Este gas es capaz de viajar entre los poros del terreno y penetrar en los edificios, donde podrá aumentar su concentración y constituir un riesgo para la salud sus ocupantes por la inhalación del mismo.

La Organización Mundial de la Salud califica el radón como agente cancerígeno de grado 1. Según este organismo, el radón es la segunda causa de contracción de cáncer pulmonar detrás del tabaco.

En base a la percepción del riesgo derivada de estudios epidemiológicos, algunos países han establecido unos valores de concentración de radón como límites de seguridad, por encima de los cuales se recomienda o se obliga, según el caso, a una intervención arquitectónica para reducir los niveles.

Desde una perspectiva arquitectónica, se han venido estudiando diversas técnicas constructivas destinadas a frenar la inmisión de radón hacia el interior de los edificios o a evacuar el mismo, con el fin de disminuir la concentración por debajo de los límites de seguridad.

Este artículo desarrolla las distintas estrategias constructivas que se vienen usando para estos fines, algunas de las cuales han sido ensayadas en España gracias a un proyecto de investigación subvencionado por el Consejo de Seguridad Nuclear, y desarrollado por el Instituto Eduardo Torroja y la Universidad de Cantabria.

**PALABRAS CLAVE:** radón; inmisión; técnicas de actuación; medidas correctoras.

### INTRODUCCIÓN

El uranio (U-238), elemento presente en la composición de los terrenos, aparece como origen de una cadena de desintegración de elementos radiactivos dentro de la cual se haya el gas radón (Rn-222).

Este gas inerte de origen natural es capaz de viajar entre los poros del terreno gracias a su alta movilidad, y alcanzar la superficie, donde podrá diluirse entre los

### ABSTRACT

Radon gas is a radioactive element that appears in nature by the decay of radium found in terrestrial soils. This gas is able to travel between the pores of the ground and enter into the buildings where the concentration can increase and becoming a health risk to occupants from inhaling.

The World Health Organization rate the radon gas as a level 1 carcinogen agent. According to this organization, radon is the second leading cause of lung cancer contraction after tobacco.

Based on the perception of risk derived from epidemiological medical studies, some countries have established radon concentration values as safety limits, above which is recommended or required an architectural intervention to reduce levels.

From an architectural perspective, there have been studies of several radon protection techniques to reduce radon immission in buildings or to evacuate it, in order to reduce the radon levels below the safety limits.

This article develops some protection strategies that have been being used for these purposes, some of which have been tested in Spain thanks to a research project funded by the Nuclear Safety Council, and developed by the Eduardo Torroja Institute and the University of Cantabria.

**KEY WORDS:** radon; immission; protection techniques; mitigation action.

gases de la atmósfera o penetrar en el interior de los edificios si estos no se encuentran debidamente protegidos, completando en ambos casos su proceso de desintegración. Al penetrar en un espacio cerrado, el radón se acumula aumentando su concentración. La inhalación de este gas puede llegar a generar cáncer pulmonar debido a que, la radiación que se produce de la desintegración del mismo y sus descendientes de vida corta en el interior de nuestro organismo, es capaz alterar el ADN de los tejidos pulmonares.

Diversos países han establecido unos límites de seguridad para los espacios cerrados y habitados. En esta línea, la recomendación de la Comisión Europea de 21 de febrero de 1990 (90/143/EURATOM) establece unos límites de concentración de actividad de radón como límites de actuación correctora, teniendo en cuenta el valor de referencia de dosis efectiva recibida de 20 mSv por año. Estos límites se expresan en bequerelios (número de desintegraciones por segundo) por metro cúbico de aire, y se dividen en dos categorías:

- Para viviendas existentes: 400 Bq/m<sup>3</sup>.
- Para viviendas de nueva construcción (valor de diseño): 200 Bq/m<sup>3</sup>.

Sobrepasados estos valores se recomienda realizar una actuación correctora que consiga reducir las concentraciones por debajo de estos límites. Estas actuaciones son de tipo arquitectónico y suponen ejecuciones constructivas de diversa índole, cuyo desarrollo, dependerá del nivel de concentración inicial, de la efectividad que se deba conseguir para reducir los niveles por debajo de los límites de seguridad, y de la configuración tipológica de la edificación.

### PENETRACIÓN DEL GAS EN UNA EDIFICACIÓN

El radón presente en la superficie terrestre se difunde en la atmósfera sin que alcance una concentración importante, siendo de un orden de 20 Bq/m<sup>3</sup>. Ahora bien, si existiese una edificación sobre un terreno con presencia de radón, y esta no estuviese protegida, el gas radón podrá penetrar en el interior de la vivienda y llegar a concentraciones superiores a los límites de seguridad que supondrán un riesgo para la salud de sus habitantes.

La movilidad del gas desde el terreno a la edificación depende principalmente de procesos convectivos en los que un gradiente de presiones induce un flujo positivo de gas. Debido a diferencias de presión entre los poros del terreno, por donde viaja el gas, y el espacio cerrado de la edificación, normalmente alto debido a ventilaciones o ausencia de las mismas, se establece un flujo positivo desde el terreno hacia el interior de la edificación. Por su condición de gas, su movilidad es alta entre los poros de los materiales normalmente usados en la edificación, y penetrará fácilmente en el interior de la vivienda, atravesando los forjados, soleas o muros.

El flujo del gas hacia la edificación depende principalmente de:

- La potencialidad del suelo de generar gas radón. Rocas con contenidos altos de radio.
- La capacidad que tenga el gas de escapar de la estructura de la roca (emanación), que dependerá de la compacidad de dicha roca.

- La porosidad y humedad que presente el terreno para que el radón pueda alcanzar la superficie (exhalación).
- La diferencia de presiones entre la existente en los poros del terreno y el interior de la edificación.
- Las condiciones meteorológicas que modificarán el flujo de radón por variación del gradiente de presiones entre los poros del terreno y el interior del edificio.

Los caminos del gas para introducirse en el interior son numerosos. Aprovechando cualquier fisura, cámara de aire, chimenea, conductos de saneamiento, materiales de alta permeabilidad, el gas penetra al interior de la vivienda aumentando su concentración y pudiendo sobrepasar los valores límites que nos aconsejan los diferentes organismos.

En la figura 1 se reflejan algunas de las vías de penetración más frecuentes.

### TÉCNICAS DE ACTUACIÓN. MEDIDAS CORRECTORAS

Se trata de actuaciones constructivas destinadas a frenar la entrada de radón al interior del edificio. Estas técnicas pueden aplicarse a edificios existentes, en los que habrá que intervenir para la introducción de las mismas, o a edificios de nueva planta, en los que podrán ser planteadas en fase de proyecto.

Lógicamente, las técnicas planteadas para edificios de nueva planta supondrán un menor coste, una mayor fa-

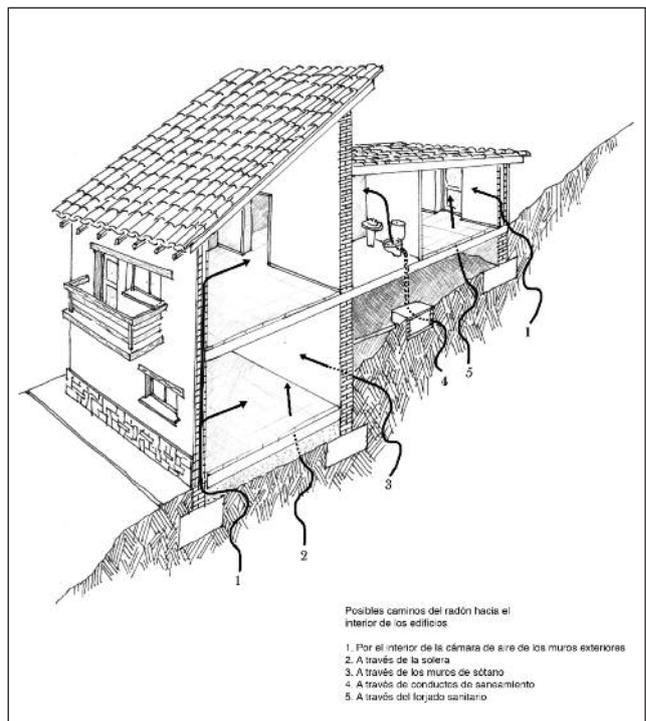


FIGURA 1. Vías principales de penetración de radón al interior de una vivienda.

cilidad de ejecución y una integración en el diseño del edificio, además de conseguir efectividades de reducción de radón de mayor rango.

En general, e independientemente de si se trata de un edificio de nueva planta o un edificio ya construido, las técnicas de actuación se basan en dos estrategias claramente diferenciadas, que pasamos a describir a continuación.

#### SISTEMAS DE BARRERAS FRENTE AL PASO DE GAS RADÓN

Son las que se suelen usar para condiciones de riesgo medio de presencia de radón, cuando los valores de concentración interior no sobrepasan los 500 Bq/m<sup>3</sup>. Consiste en interponer una membrana de material impermeable frente al paso de los gases entre el terreno y los elementos constructivos que cierran el edificio (soleras, forjados sanitarios, muros de sótano). El sistema es similar a los de protección frente a la humedad, salvo que no se trata de protegerse frente al agua sino frente a un gas, por lo que los materiales usados como barreras frente a radón deben cumplir con unas exigencias mayores en cuanto a impermeabilidad y a resistencias mecánicas.

La figura 2 muestra un esquema de colocación de la membrana bajo la solera de sótano y por la cara exterior de los muros.

Las membranas que se utilizan como barreras frente al paso de radón no solo deben ser estancas a este, sino que además deben cumplir una serie de exigencias relacionadas con la durabilidad del material, para que esta se ajuste a la vida útil del edificio, y con las resistencias mecánicas, para que pueda soportar los distintos estados de tensión y carga que se van a producir en el edificio. La lámina, cuando se coloca sobre el terreno, deberá soportar el peso de la losa de solera y no

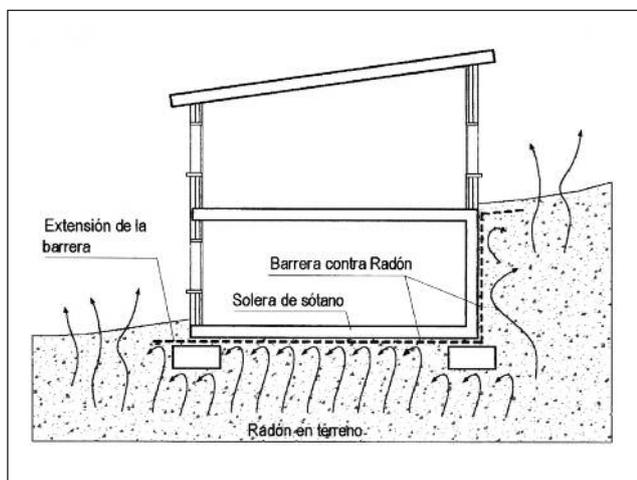


FIGURA 2. Esquema de situación de una barrera de protección frente a radón.

punzarse con las irregularidades de la misma y del propio terreno. Por otro lado, cuando se coloca encima de la solera, también deberá resistir el peso del solado y no punzarse con la capa superior de la solera.

También deben ser resistentes al paso de personal de la obra durante su colocación y durante el proceso constructivo de las fases de solado, vertido de morteros, etc. Por tanto, se les exigirá altas resistencias al punzamiento, al desgarro y a la tracción, para evitar fisuras durante la ejecución y la vida útil de la membrana. La elongación también es importante para absorber dilataciones del soporte y no figurarse.

Entre los materiales más usados se encuentran los siguientes, que en su mayoría constituyen sistemas multicapa: polietilenos de baja densidad con refuerzos de mallas; polietilenos de alta densidad; multicapas asfálticas; PVC plastificado; caucho EPDM; sistemas de aplicación líquida (poliuretanos).

La figura 3 muestra un ejemplo de membranas multicapa aplicadas en sistema de rollo por solape.

#### Ubicación de la barrera

La barrera debe colocarse en todo elemento de cerramiento del edificio que esté en contacto con el terreno. Las soleras, los forjados sanitarios y los muros de sótano son objeto de protección. La ubicación de la misma por la cara interior del cerramiento, o por la cara exterior directamente contra el terreno, dependerá del tipo de construcción que se quiera proteger. En casos de viviendas existentes, la colocación por la cara exterior complicará mucho la actuación, mientras que en edificios de nueva planta se puede proyectar la instalación de la barrera en fase de diseño de la misma manera que se hace con las membranas protectoras frente a la humedad. En este último caso, la barrera frente a la penetración del gas funcionará a su vez como sistema de impermeabilización frente a la humedad.



FIGURA 3. Barrera multicapa aplicada por bandas con solape. Marca comercial: DuPont Radon Plus Gas Barrier, DuPont Engineering Products.

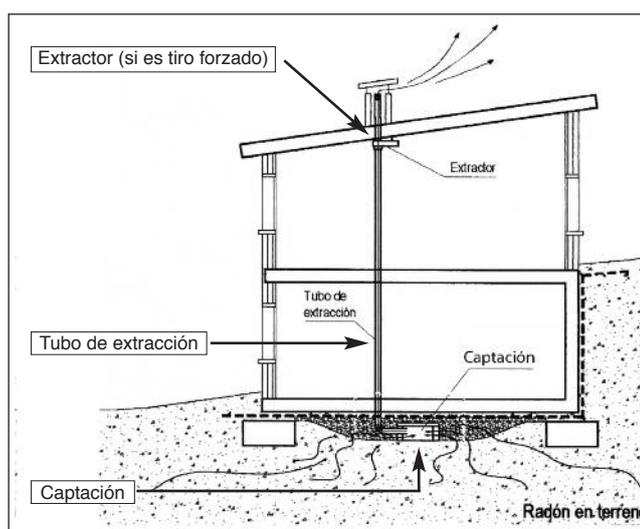
## Puntos singulares

La técnica de barreras contra radón requiere una puesta en obra que cuide al máximo detalles como juntas, solapes, encuentros y demás puntos que puedan presentar riesgos de rotura a largo o corto plazo. El tratamiento debe ir enfocado a permitir cierta movilidad en la barrera para absorber dilataciones estructurales, a reforzar puntos de sobrecarga para evitar punzonamientos o desgarros, al sellado adecuado de los solapes para que no existan fugas y, en general, a todo encuentro entre diferentes materiales y demás puntos singulares que puedan presentar riesgo de rotura de la lámina. Hay que entender que el radón es un gas y que su movilidad es alta, por lo que cualquier deterioro en la lámina va a provocar una disminución en la estanquidad de la misma y la efectividad de la actuación se verá reducida.

## SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE RADÓN

En esta segunda gama de actuaciones arquitectónicas, los sistemas basan su estrategia en extraer el aire con contenido de radón que se encuentra en el terreno, sobre el que se apoya la vivienda, y expulsarlo al exterior para que no penetre en los espacios interiores. Su función es evacuar los gases provenientes del terreno antes de que pasen al interior de los edificios. Estas soluciones se suelen usar para casos en los que se detectan niveles de radón superiores a los 500 Bq/m<sup>3</sup>.

Para la extracción es necesario un punto de captación en el terreno, un conducto de evacuación hacia el exterior y un extractor mecánico. Este último se deberá colocar en el caso de que se precise mayor efectividad ya



**FIGURA 4. Ejemplo de sistema de extracción con una arqueta de captación situada bajo la solera y un tubo de extracción que expulsa el gas hacia el exterior. En este esquema figura también un extractor para forzar el tiro.**

que, el tiro forzado, lógicamente evacuará mayor cantidad de radón al exterior que un tiro natural.

La figura 4 esquematiza un diseño de este tipo de actuaciones.

Lógicamente, el resultado de un sistema que incluya un extractor mecánico será más efectivo que el de tiro natural. La elección de un sistema u otro vendrá condicionada por una serie de factores:

- La ubicación del punto de captación en el terreno en relación a la planta del edificio. Si el punto de captación se encuentra alejado de la zona de apoyo del edificio, fuera del perímetro de este, por ejemplo, puede ser recomendable el uso de extractores para generar mayor succión y así ampliar el área de influencia del sistema. También será necesario colocar un extractor mecánico en situaciones de terrenos compactos, en los que la movilidad del radón es escasa y la potencia del extractor facilita su movilidad hacia el punto de captación.
- En zonas con concentraciones elevadas de radón también será recomendable el uso de sistemas mecánicos por su mayor efectividad frente a los de tiro natural
- Cuando menor sea el número de puntos de extracción bajo la vivienda, más recomendable será el uso de extractores mecánicos por su mayor radio de acción en el terreno.
- En aquellos casos en los que no se use extractor, se ha demostrado mediante un proyecto de investigación\*, que en los días en los que se han detectado vientos superiores a 8 m/s, la efectividad se ha igualado a la de un sistema con extractor gracias a la mayor depresión inducida en la arqueta debido al efecto venturi que se produce en la boca del tubo de expulsión.

### Sobre el punto de captación. Arqueta porosa

Un punto de captación no es más que un espacio ubicado bajo la vivienda y que, por su configuración, permite el paso de gases del terreno a su interior. A él acomete un tubo de extracción por el que se evacuarán los gases al exterior.

Normalmente, se usan unas arquetas parecidas a las comúnmente empleadas para los sistemas de saneamiento, con la salvedad de que la interfaz con el terreno debe ser porosa para permitir el paso del gas al interior. Existen sistemas de arquetas prefabricadas con materiales plásticos y perforaciones en sus paredes para permitir el paso del gas a su interior, pero también se pueden realizar con materiales convencionales en el mundo de la construcción como ladrillos perforados, bloques, etc.

\* Proyecto realizado por el Instituto Eduardo Torroja y la Universidad de Cantabria. Financiado por el consejo de Seguridad Nuclear. Título: Estudio de la viabilidad y efectividad de las acciones de remedio ante la presencia de gas radón en edificios existentes. Junio 2007.

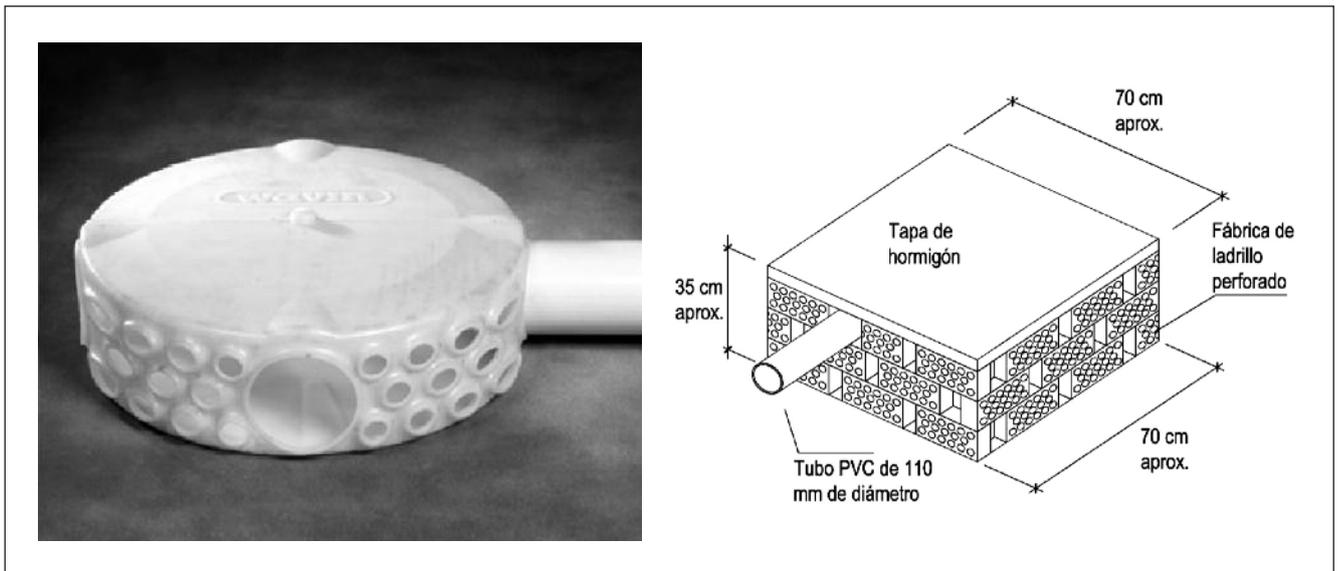


FIGURA 5. Ejemplo de arqueta de captación prefabricada en PVC (comercializada por Wavin Ireland, Limited Balbriggan Co. Dublín) y arqueta realizada *in situ* con ladrillos perforados colocados en sentido transversal.

La figura 5 muestra un sistema prefabricado en PVC y otro realizado *in situ* con ladrillos perforados.

Si se realiza un relleno bajo la vivienda con material más poroso, es decir, con algún tipo de arena o grava por donde el gas se mueva con mayor facilidad, el punto de captación podrá abarcar mayor superficie de extracción. La superficie “segura”, la superficie de terreno cubierta por un sistema de extracción depende de la compacidad del terreno y de la fuerza del extractor si el sistema es de tiro forzado.

#### Sobre la tubería de extracción

La tubería de extracción se encarga de conducir los gases desde la captación hasta el exterior del edificio. Lo comúnmente usado para estos propósitos es un tubo de PVC con un diámetro nominal entre 110 mm y 130 mm, aunque este puede cambiar en función del cálculo de necesidades para el extractor dado, la cantidad de radón detectada, y la compacidad del terreno.

Lo más efectivo será llevar el tubo de extracción en vertical hasta la cubierta porque, de esta manera, provocaremos un tiro natural desde el punto más bajo. En ocasiones se conduce el tubo en horizontal hasta el exterior de la vivienda, atravesando los muros de cimentación o de plantas de sótano. De esta manera, se evitan los tubos pasantes entre plantas pero se deberá tener presente que el tiro natural, en este caso, será menor y que por tanto, la instalación de un extractor mecánico para forzar el tiro, puede ser inevitable.

En ambos casos se debe tener presente que el punto de paso del conducto a través de la barrera de protección

frente a gas radón debe tratarse con elementos especiales de sellado.

#### Sobre la instalación de un extractor para forzar el tiro

Se usa el extractor para forzar el tiro del conducto de evacuación de gases y conseguir mayor efectividad en la reducción de radón. Las instalaciones con tuberías de extracción pueden funcionar mediante tiro natural si se han previsto para ello, y solamente será necesaria la colocación del extractor, si tras haber medido la concentración de radón, esta fuera aún excesiva.

Este puede instalarse en diferentes puntos de paso del conducto, si bien lo más normal es colocarlo en lugares donde esté protegido de la intemperie y no cause molestias a los habitantes del edificio.

En cuanto a la potencia necesaria del extractor, variará dependiendo del área de terreno que deba cubrir y de la permeabilidad del terreno. A mayor área de terreno y a menor permeabilidad, la potencia debe ser mayor. En condiciones normales de permeabilidad media del terreno y en un área de 250 m<sup>2</sup> (radio de 15 metros) un extractor con una potencia de 50-100 W bastará, pero estos datos han de ser calculados para cada caso. Existen programas basados en cálculos de elementos finitos que reproducen las características del terreno e introducen focos de captación para comprobar la movilidad del radón en función de la depresión generada. En base a estos estudios, se puede determinar que superficie de terreno se puede abarcar con una extracción situada en un punto estratégico y que pueda dar cobertura a varias viviendas. El extractor que se coloque será de mayor potencia que el que beneficia a una única vivienda.



**FIGURA 6 . Fotografía del módulo de vivienda donde se han probado los diferentes sistemas de protección frente a radón.**

### Variaciones del sistema

Estos sistemas de extracción pueden tener varias configuraciones:

- Dependiendo de la ubicación del punto de extracción, se encuentran soluciones que utilizan arquetas de captación enterradas bajo la vivienda y otras que utilizan arquetas enterradas fuera de la planta del edificio. Estas últimas se suelen colocar en viviendas construidas ya que no se interviene en el interior, pero su efectividad es menor y, en la mayoría de los casos, será necesaria la colocación de extractores mecánicos para garantizar la protección.
- En los casos en los que la vivienda esté levantada sobre una cámara de forjado sanitario (espacio de aire libre entre el suelo de planta baja y el terreno), la extracción se puede conectar directamente a este espacio usándolo como arqueta captadora. La efectividad es elevada al tener mucha superficie de captación. En estos casos en los que se construye la vivienda elevada sobre el terreno, un método bastante efectivo es practicar huecos de ventilación en los muros laterales de dicha cámara permitiendo que el radón acumulado bajo la vivienda sea expulsado hacia el exterior.
- Otra variante del sistema es introducir aire en lugar de expulsarlo. De esta manera, se crea una sobrepresión en la arqueta enterrada y se genera un volumen de terreno circundante (bulbo de presiones), que por tener mayor presión que el resto, obliga al radón a salir a la atmósfera por el exterior de la influencia de estas presiones.
- Otra actuación posible, y que puede englobarse en esta gama de soluciones de extracción, consiste en ventilar directamente la vivienda. Es decir, evacuar aire de la misma e introducir aire nuevo desde el exterior. Lógicamente, si se introduce aire “limpio” de la atmósfera y se evacua el contaminado del interior de la vivienda, se obtendrá un aire interior con

menos contenido de radón, pero hay que tener presente un aspecto importante a estudiar: si el aire expulsado (mediante un ventilador de aseo, por ejemplo) es de mayor cuantía que el que se introduce por los puntos de inmisión desde el exterior, entonces se creará una depresión en el interior de la vivienda, que aunque mínima, puede ser suficiente para inducir un mayor flujo de radón desde el terreno hacia la vivienda, y obtener unas concentraciones finales mayores que las que existían sin el sistema de ventilación. Para lograr que este problema no aparezca, hay que estudiar bien los caudales de expulsión y los de inmisión para que, en el interior de la vivienda, se cree una sobrepresión y no una depresión. Por otro lado, al introducir aire del exterior se tendrán pérdidas energéticas que deberán ser evaluadas conforme al Código Técnico de la Edificación (CTE).

### EFFECTIVIDADES DE LAS DISTINTAS TÉCNICAS DE ACTUACIÓN

Las efectividades de estos sistemas se han estudiado mediante experiencias de campo, midiendo las concentraciones de radón antes y después de haber introducido los sistemas de protección. En este sentido, se muestran a continuación los resultados obtenidos de la ejecución de distintas técnicas de actuación, aplicadas a un módulo representativo de vivienda construido en una zona con altos contenidos de radón. Los datos derivan de un proyecto de investigación realizado por el Instituto Eduardo Torroja y la Universidad de Cantabria (Cátedra de Física Médica), con financiación del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), que se ha terminado en el año 2007.

### CONCLUSIONES

El riesgo que se presenta, para el ser humano, al habitar en espacios con altos contenidos de radón ha sido estudiado desde hace décadas y en estos momentos se tiene la certeza de que existe un riesgo real de contraer cáncer pulmonar derivado de la inhalación de dicho gas. Así lo afirman organismos tales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), o la Environmental Protection Agency (US EPA), que califican al radón como agente cancerígeno de grado 1 (probado), y advierten de que se trata de la segunda causa de contracción de cáncer pulmonar detrás del tabaco.

Asumiendo estos datos de riesgo, desde el punto de vista arquitectónico, se plantea la necesidad de proteger los espacios habitados de una excesiva concentración de gas radón. Como se ha mostrado en este artículo, los resultados de reducción de radón interior de diversas soluciones arquitectónicas han sido, en alto grado, satisfactorios, ya que se ha conseguido, en muchas de ellas, reducir por debajo de concentraciones de 400 Bq/m<sup>3</sup> (recomendación europea).

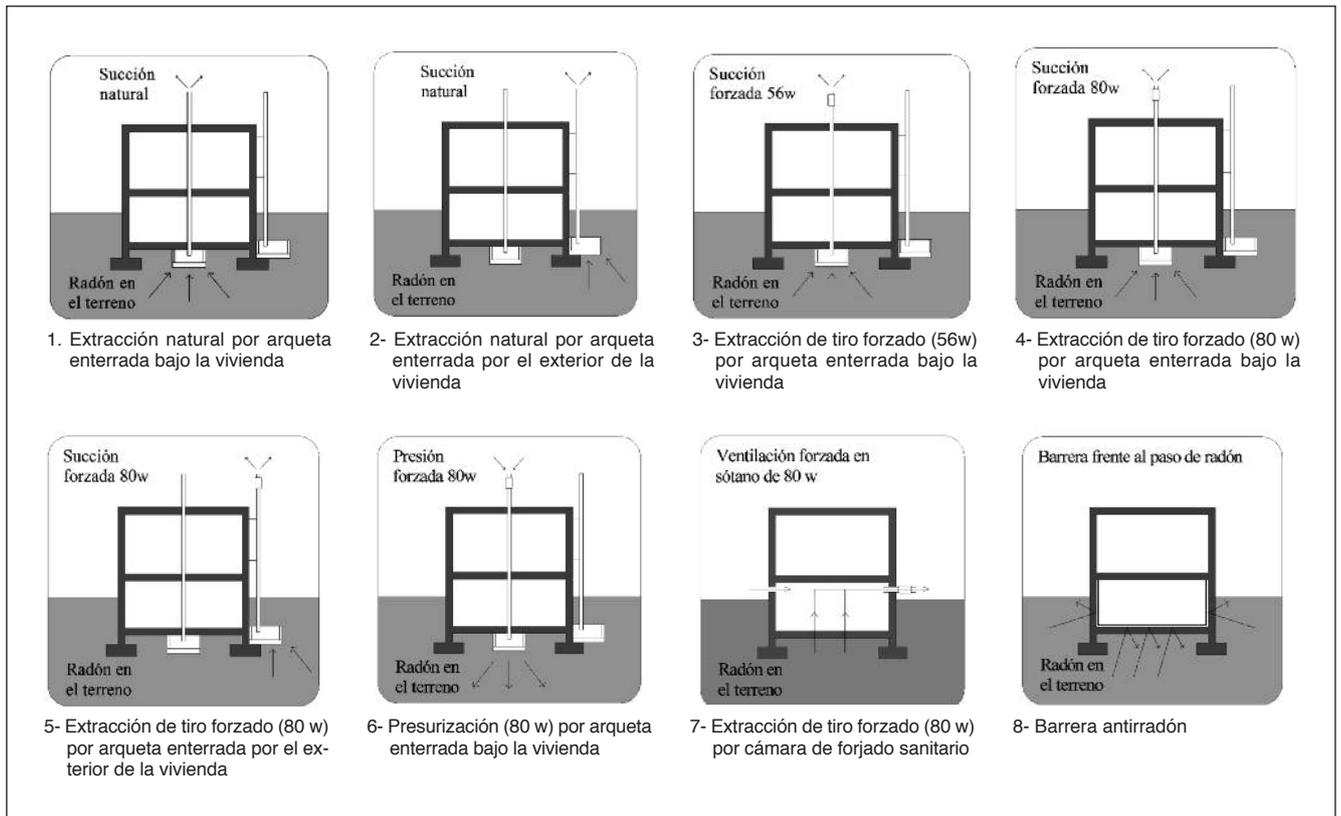


FIGURA 7. Esquemas de las soluciones ensayadas para obtener los resultados de efectividades.

### Efectividades

De las efectividades conseguidas por cada una de las soluciones probadas se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- De todas ellas, las soluciones que hacen uso de extractores mecánicos han dado resultados con reducciones de radón más elevadas que los de tiro natural.
- Se ha visto como una ubicación de arqueta por el exterior de la vivienda ha resultado ser una opción de menor efectividad que las que usan la arqueta bajo el edificio, aunque también se ha demostrado como al instalar un extractor en dicha arqueta, la efectividad aumenta y se iguala a la de la arqueta central bajo el edificio. Ello nos indica que si se pretende actuar por el exterior del terreno de asiento de la vivienda, se deberá pensar en sistemas de extracción con tiro forzado para que la efectividad aumente.
- Por otro lado, la solución de presurización ha dado tan buenos resultados como los de extracción, oscilando los porcentajes de efectividad entre un 93% y un 99%.
- El sistema de ventilación del forjado sanitario ha conseguido unos resultados muy buenos igualando los de extracción por arquetas, lo que indica que, la tipología constructiva de elevación del suelo de asiento que permita dejar una cámara bajo el mismo, es una buena practica para frenar el radón al mismo tiempo que contribuye a un dotar a la vivienda de un mayor aislamiento térmico y una protección frente a la humedad.

- Por ultimo, en el sistema de barreras anti radón estudiado, se han visto efectividades altas que contrastan con las que documentan otras experiencias fuera de España. La barrera utilizada ha resultado de la aplicación líquida de poliuretano de densidad  $1.000 \text{ Kg/m}^3$  que ha curado en las superficies de proyección y que ha constituido una membrana continua sin solapes en todo muro de sótano y solera. Dicho modo de aplicación por proyección, en lugar de los comúnmente usados por extensión de rollos de material y solapes, ha sido uno de los factores que ha permitido elevar la efectividad de la barrera por encima de lo esperado al evitar las posibles fugas que se pueden encontrar en los solapes.
- De todas formas, el cuadro de efectividades mostrado hay que tomarlo como un indicador orientativo de las efectividades de las distintas soluciones posibles ya que se ha realizado tomando como modelo una construcción concreta ubicada en un terreno determinado. Para cada caso de terreno y para cada tipología constructiva de vivienda, la solución de protección frente a radón debe ser ajustada para que no disminuya la efectividad. Muchas de estas soluciones serán de difícil aplicación en viviendas construidas y por tanto se necesitarán estudios arquitectónicos que aporten las soluciones idóneas para cada caso. Para viviendas en fase de ejecución, la adaptación de las técnicas será de menor complejidad y podrán ser integradas en el proyecto global de la edificación.

TABLA 1. Cuadro de efectividades

	Inicial concentración media (Bq/m <sup>3</sup> )		Concentración tras la intervención (Bq/m <sup>3</sup> )		Reducción (Bq/m <sup>3</sup> )		Efectividad reducción %	
	Sótano	P. 1 <sup>a</sup>	Sótano	P. 1 <sup>a</sup>	Sótano	P. 1 <sup>a</sup>	Sótano	P. 1 <sup>a</sup>
<b>Medida correctora</b>								
<b>Extracción natural</b>								
1. Extracción natural por 1 arqueta (central)	39.385	6.855	1.742	603	37.643	6.252	96	91
2. Extracción natural por 1 arqueta (exterior)	39.385	6.855	16.607	3.213	22.778	3.642	58	53
<b>Extracción forzada</b>								
3. Extracción forzada por 1 arqueta (central) (56 W)	39.385	6.855	409	368	38.976	6.487	99	95
4. Extracción forzada por 1 arqueta (central) (80 W)	39.385	6.855	349	479	39.036	6.376	99	93
5. Extracción forzada por 1 arqueta (exterior) (80 W)	39.385	6.855	327	480	39.058	6.375	99	93
<b>Presurización</b>								
6. Presurización por 1 arqueta (central) (80 W)	39.385	6.855	271	380	39.114	6.475	99	94
<b>Ventilación forjado sanitario</b>								
7. Ventilación forzada en sótano 80 W	39.385	6.855	10.072	307	29.313	6.548	74	96
<b>Barrera frente a radón</b>								
8. Barrera antirradón. Poliuretano (densidad 1.000 kg/m <sup>3</sup> )	39.385	6.855	1.446	434	37.939	6.421	96	94

Muy alta

Alta

Media/baja

## Protocolo de actuación

Cuando se quiere dar solución correctora a una vivienda con altos contenidos de gas radón, el protocolo que se debiera seguir constaría de los siguientes pasos:

- Solicitar una medida de concentración a un laboratorio especializado (contactar con la Red de Radiación Natural, REDRADNA), bien en la vivienda, si esta se encuentra construida, o en el terreno, si se trata de una vivienda en fase de construcción.
- Con los datos de concentración de radón y permeabilidad de terreno se debe contactar con especialistas en soluciones arquitectónicas enfocadas a reducir dicha concentración, para realizar un proyecto de actuación. En estos momentos, el Instituto Eduardo Torroja tiene abierta una línea de actuación para peticiones de este tipo.
- Tras la actuación arquitectónica, un laboratorio especializado debe volver a medir para poder garantizar que se han reducido los niveles por debajo de los límites de seguridad.

## AGRADECIMIENTOS

- Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)
- ENUSA
- Fandiño Alfayate Construcciones
- ATEPA
- PERAI S.L.
- Synthesia Española S. A.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Barros Dios JM. Radón y cáncer pulmonar: Un desafío de futuro. III Workshop Radón y Medio Ambiente. Madrid; 2004.
2. Recomendación de la Comisión, de 21 de febrero de 1990, relativa a la protección de la población contra peligros de una exposición al radón en el interior de edificios. (90/143/Euratom). DOCE núm. L80, de 27 de marzo.
3. Decreto 262/2007, de 20 de diciembre, por el que aprueban las normas del hábitat gallego. Diario Oficial de Galicia num. 12, de 17 de enero de 2008.
4. Berenguer Subils MJ. Radón en ambientes interiores. Notas Técnicas de Prevención. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 1997;440.
5. Font L, Baixeras C. The RAGENA dynamic model of radon generation, entry and accumulation indoors. Science of the Total Environment 2003;307(1-2):55-69.
6. Quindós L. Radón, un gas radiactivo de origen natural en su casa. Madrid: CSN – Universidad de Cantabria; 1995.
7. Collignan B, Millet JR. Réduire la concentration en radon dans les bâtiments existants. Guide de proposition de solutions techniques Cahiers du Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTB) Francia 1999; 3143.
8. Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC). Le radon dans les habitations. Bélgica; 1999.
9. Clavensjón Bertil, Akertblom Gustav. The Radon Book. Measures against radon.. The Swedish Council for Building Research; 1994.
10. Office of Air and Radiation. Building Radon. US EPA; 2001.