

Radón y cáncer de pulmón. Implicaciones para profesionales sanitarios, ciudadanos y administraciones públicas



Alberto Ruano-Ravina^{a,b} y Juan Miguel Barros-Dios^{a,c}

^aDepartamento de Medicina Preventiva y Salud Pública*. Facultad de Medicina. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela. A Coruña.

^bAgencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Galicia. Consellería de Sanidad. A Coruña.

^cServicio de Medicina Preventiva. Hospital Clínico Universitario de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela. A Coruña. España.

Origen y fuentes del radón

El radón es un gas noble incoloro, inodoro e insípido, que está disuelto en el aire y, por lo tanto, es ubicuo. Es especialmente frecuente en zonas montañosas o rocosas¹ y se estima que hay una partícula por cada 10^{21} moléculas de aire. Las concentraciones de radón atmosférico de origen natural son tan bajas que las aguas superficiales en contacto con la atmósfera ceden radón continuamente por volatilización. La fuente principal de radón la constituyen las rocas con alto contenido de uranio. El radón fue descubierto en 1900 por Friedrich Ernst Dorn, y su denominación actual fue adoptada en 1923. En la tabla 1 pueden observarse los hitos más importantes en el estudio de los efectos de este gas sobre la salud.

El radón procede de la desintegración de 3 elementos químicos: el uranio-238 (^{238}U), el torio-232 (^{232}Th) y el uranio-235 (^{235}U). Tras la formación de varios productos intermedios se originan el ^{222}Rn , el ^{220}Rn o torón y el ^{219}Rn . De ellos, el primero supone más del 80% del total, por lo que es al que se suele aludir como radón, aunque casi otro 20% corresponde al ^{220}Rn . Las cadenas de desintegración acaban finalmente con la formación de un isótopo estable del plomo (^{206}Pb , ^{208}Pb y ^{207}Pb). Durante la desintegración radiactiva del ^{222}Rn se producen 4 isótopos de vida media corta de tipo sólido: polonio-218, plomo-214, bismuto-214 y polonio-214 (denominados descendientes de vida media corta del radón), que emiten radiación alfa (mayoritaria) y gamma y beta (minoritarias). Al ser químicamente inerte, la mayoría del ^{222}Rn inhalado se exhala con rapidez, mientras que sus descendientes se depositan en los pulmones. Dos de ellos, el ^{214}Po y el ^{218}Po , emiten partículas alfa, que, cuando son emitidas en los pulmones, producen alteraciones de la mucosa que pueden acabar causando cáncer de pulmón. El radón es la fuente más importante de radiación natural: representa el 50% de toda la radiación que afecta al ser humano a lo largo de su vida².

Por su forma gaseosa, el radón puede desplazarse pasivamente y entrar en las edificaciones por filtración a través de las grietas del suelo, de espacios entre los muros y el suelo, de huecos alrededor de las tuberías, etc. Por eso y por su densidad, mayor que la del aire, los valores más altos de radón se suelen encontrar en las zonas más bajas de la casa^{3,4}, como los sótanos, y se puede observar que la con-

centración disminuye según ascendemos de piso en la edificación⁵. Esto no impide que haya concentraciones altas de radón en puntos más elevados, dependiendo de las condiciones de ventilación y estructura del edificio.

La concentración de radón no es igual en todas las zonas geográficas, pues depende de múltiples factores. El principal es el sustrato geológico sobre el que se asienta la vivienda: si es una zona con rocas subyacentes ricas en uranio, es previsible que haya una concentración elevada de radón en el edificio. Así, zonas de la geografía española como Galicia, la sierra de Guadarrama o los Arribes del Duero, con predominio granítico (rico en uranio), tienen una elevada concentración de radón en las viviendas, como se ha de-

TABLA 1

Principales acontecimientos relacionados con el efecto del radón sobre la salud y la protección de la población frente a este factor de riesgo

Fecha	Acontecimiento
1500	Agrícola observa un exceso de mortalidad por enfermedad respiratoria en mineros de las montañas del Erz, en Europa del Este
1879	Karting y Hesse encuentran que ese exceso de mortalidad en los mineros se debe al cáncer de pulmón
1921	Uhlig relaciona las emanaciones del radio con el cáncer de pulmón
Años setenta	Se publican los primeros estudios que relacionan la exposición a radón y el cáncer de pulmón en mineros
1987	La Agencia de Protección Ambiental norteamericana establece 148 Bq/m ³ como la concentración de radón a partir de la cual deberían tomarse medidas de reducción en los domicilios
1988	La Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC) clasifica el radón y sus descendientes como carcinógenos humanos
1988	BEIR IV (US National Academy of Sciences/National Research Council, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations). Análisis pormenorizado de los estudios realizados sobre radón en mineros y sobre radón en animales. Asocia la evidencia publicada con el riesgo de cáncer de pulmón debido a la exposición a radón
1990	Publicación de una directiva europea (Euratom, Comisión Europea para la Energía Atómica) que recomienda que no se superen los 400 Bq/m ³ en viviendas ya construidas y los 200 Bq/m ³ en viviendas de nueva construcción
Años noventa	Estudios sobre radón residencial y riesgo de cáncer de pulmón
1999	BEIR VI. Actualización del informe anterior, donde se indica que el radón es el segundo factor de riesgo del cáncer de pulmón después del tabaco
2005	Inicio del International Radon Project, patrocinado por la Organización Mundial de la Salud
2005	Publicación de los resultados combinados de los estudios sobre radón domiciliario y cáncer de pulmón realizados en Europa (<i>British Medical Journal</i>) y Norteamérica (<i>Epidemiology</i>)
2007	Publicación de los resultados del análisis conjunto mundial, que incluirá todos los estudios realizados sobre radón domiciliario y cáncer de pulmón

*El departamento de Medicina Preventiva y Salud pública de la Universidad de Santiago de Compostela forma parte del Centro de Investigación Biomédica en Red (CIBER) de Epidemiología y Salud Pública.

Correspondencia: Dr. J.M. Barros-Dios.
Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública.
Facultad de Medicina. Universidad de Santiago de Compostela.
San Francisco, s/n. 15782 Santiago de Compostela. A Coruña. España.
Correo electrónico: mrbarras@usc.es

Recibido el 15-11-2006; aceptado para su publicación el 18-12-2006.

TABLA 2

Resultados de los estudios de casos y controles y de los análisis conjuntos de estudios sobre radón residencial y cáncer de pulmón

Autor y año	Lugar	Tamaño muestral	Resultados
Darby et al ¹⁶ , 2005	Análisis conjunto de estudios europeos	14 estudios incluidos	El riesgo de CP por cada 100 Bq/m ³ aumenta en 1,16 (IC del 95%, 1,05-1,31)
Krewski et al ¹⁷ , 2005	Análisis conjunto de estudios norteamericanos	7 estudios incluidos	El riesgo de CP por cada 100 Bq/m ³ aumenta en 1,11 (IC del 95%, 1,00-1,28)
Lubin et al ¹⁹ , 2004	Análisis conjunto de estudios chinos	2 estudios incluidos	El riesgo de CP por cada 100 Bq/m ³ aumenta en 1,33 (IC del 95%, 1,01-1,36)
Bohicchio et al ²⁰ , 2005	Italia	384 casos y 404 controles	Riesgos de 1,30 (IC del 95%, 1,03-1,64); 1,48 (IC del 95%, 1,08-2,02); 1,49 (IC del 95%, 0,82-2,71), y 2,89 (IC del 95%, 0,45-18,06) para exposiciones de 50-99, 100-199, 200-399 y > 399 Bq/m ³ , respectivamente, al comparar con exposiciones < 50 Bq/m ³
Pavia et al ¹⁰ , 2003	Metaanálisis	17 estudios incluidos	El riesgo para los expuestos > 150 Bq/m ³ es de 1,24 (IC del 95%, 1,11-1,38)
Kreienbrock et al ²¹ , 2001	Antigua Alemania Occidental	1.449 casos y 2.297 controles	Riesgos de 1,57 (IC del 95%, 1,08-2,27); 1,93 (IC del 95%, 1,19-3,13), y 1,93 (IC del 95%, 0,99-3,77) para concentraciones de 50-80, 81-140 y > 140 Bq/m ³ , respectivamente, tomando como referencia concentraciones < 50 Bq/m ³
Baysson et al ²² , 2004	Francia	486 casos y 984 controles	Riesgos de 0,85 (IC del 95%, 0,59-1,22); 1,19 (IC del 95%, 0,81-1,77); 1,04 (IC del 95%, 0,64-1,67), y 1,11 (IC del 95%, 0,59-2,09) para concentraciones de 50-100, 100-200, 200-400 y > 400 Bq/m ³ , tomando como referencia a los expuestos a < 50 Bq/m ³
Barros-Dios et al ¹⁸ , 2002	Galicia, España	163 casos y 241 controles	Riesgos de 2,73 (IC del 95%, 1,12-5,48); 2,48 (IC del 95%, 1,21-6,79), y 2,96 (IC del 95%, 1,29-6,79) para los expuestos a 37-55, 55-148 y > 148 Bq/m ³ , respectivamente, tomando como referencia a los expuestos a < 37 Bq/m ³
Letourneau et al ²³ , 1994	Canadá	738 casos y 738 controles	No hubo diferencias en los riesgos de CP para expuestos frente a no expuestos
Alavanja et al ²⁴ , 1999	Missouri (EE.UU.)	783 casos y 742 controles expuestos durante 25 años a radón residencial	Riesgos de 1,3 para nunca fumadores y de 4,8 para muy fumadores
Auvinen et al ²⁵ , 1996	Finlandia	517 casos y 517 controles	Riesgos de 1,03 (IC del 95%, 0,84-1,26); 1,00 (IC del 95%, 0,78-1,29); 0,91 (IC del 95%, 0,61-1,35), y 1,15 (IC del 95%, 0,69-1,93) para concentraciones de 50-99, 100-199, 200-399 y 400-1237 Bq/m ³ , respectivamente, tomando como referencia concentraciones < 50 Bq/m ³
Pershagen et al ¹¹ , 1994	Suecia	1.360 casos y 2.847 controles	Riesgos de 1,3 (IC del 95%, 1,1-1,6) y 1,8 (IC del 95%, 1,1-2,9) para expuestos a 140-400 y > 400 Bq/m ³ , respectivamente, tomando como referencia a expuestos a < 50 Bq/m ³

CP: cáncer de pulmón; IC: intervalo de confianza.

mostrado en varios estudios⁶⁻⁹. Otros factores que influyen en la concentración de radón en el interior de las viviendas (a partir de aquí, radón domiciliario) son la permeabilidad del terreno, los materiales de construcción del edificio y la ventilación de éste¹⁰.

¿Por qué el radón produce cáncer de pulmón? Efecto de la radiación alfa

Aunque la concentración de radón en el exterior es baja, el gas tiende a acumularse en el interior de los domicilios, ya que éstos ejercen de campana y concentran el radón que «emana» de los materiales de construcción y sobre todo el procedente del subsuelo sobre el que se asienta la vivienda, el cual «se exhala» a través de grietas y fisuras. En algunos domicilios pueden alcanzarse concentraciones muy elevadas, y se ha demostrado que las personas que residen largo tiempo en ellos tienen mayor riesgo de cáncer de pulmón¹¹. Los descendientes del radón, cuando se inhalan, emiten partículas alfa, que penetran en las células del epitelio pulmonar, siendo esta acción la que produce finalmente cáncer de pulmón. Estudios realizados en animales y sobre todo en mineros llevaron a que la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC) clasificase el radón como carcinógeno humano en 1988¹, y que la conclusión del in-

forme sobre el efecto de la exposición al radón de la Academia Nacional de Ciencias de EE.UU. (Biologic Effects of Ionizing Radiation, BEIR VI) lo clasificase como la segunda causa del cáncer de pulmón después del tabaco¹².

Exposición a radón y cáncer de pulmón

Estudios en mineros. Gran parte de la información sobre los efectos carcinógenos del radón proviene de estudios de mortalidad realizados en mineros australianos, canadienses, chinos, norteamericanos y europeos. Hay al menos 11 estudios de cohortes en mineros, con más de 1.000 participantes, en los que el exceso de riesgo relativo (por cada mes trabajado) oscila entre el 0,2% de China¹³ y el 5,4% de Australia¹⁴. En todos los estudios se encontró, por tanto, un exceso de mortalidad por cáncer de pulmón en los expuestos a radón frente a los no expuestos. Utilizando estos estudios como punto de partida, se han realizado modelos matemáticos que intentan predecir el riesgo de cáncer de pulmón en las personas expuestas a radón en su domicilio¹⁵.

Estudios sobre radón domiciliario. Desde la década de los años noventa se han publicado numerosos estudios de casos y controles (tabla 2)^{10,11,16-25} que han relacionado la exposición a radón domiciliario con el cáncer de pulmón. Si

bien al principio los resultados eran discrepantes, las últimas investigaciones apuntan claramente al radón como un factor de riesgo muy importante para el desarrollo de cáncer de pulmón. La gran mayoría de estas investigaciones encontraron que la concentración de radón era superior en los domicilios de los afectados de cáncer de pulmón que en los hogares de los controles.

Recientemente, los datos acerca del efecto del radón sobre el riesgo de cáncer de pulmón son más precisos. El estudio de Darby et al¹⁶, publicado en 2005, en el que se incluyeron datos individuales de todos los sujetos de los mejores estudios de casos y controles publicados en Europa hasta esa fecha, indica un exceso de riesgo de cáncer de pulmón del 16% por cada 100 Bq/m³ de aumento en la concentración de dicho gas. Otra investigación que incluía estudios norteamericanos y canadienses¹⁷ indica un incremento de riesgo de un 11% por cada 100 Bq/m³, y un metaanálisis publicado por Pavia et al¹⁰ indica que los expuestos a más de 150 Bq/m³ tienen un 24% más de probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón que los sujetos expuestos a valores inferiores, con una *odds ratio* de 1,24 y un intervalo de confianza (IC) del 95% de 1,11-1,38.

Los resultados de estudios individuales son menos concordantes: en algunas investigaciones se encontraron riesgos cercanos a 3 para los más expuestos¹⁸ y, en otras, falta de efecto. Los resultados más habituales oscilan entre 1,5 y 2. Estas diferencias pueden deberse a los métodos utilizados, a técnicas diferentes de medida de radón, a un distinto nivel medio de exposición a radón de las diferentes zonas geográficas o a una gran variabilidad en la proporción de fumadores en los distintos estudios. Todo ello puede influir en los resultados sobre el riesgo de cáncer de pulmón. En la tabla 2 pueden verse los hallazgos de algunos de los estudios realizados sobre radón residencial y riesgo de cáncer de pulmón.

Radón y tabaco. Varias investigaciones han encontrado interacción entre la exposición a radón y el hábito tabáquico en la aparición de cáncer de pulmón. Parece razonable pensar que, al ser 2 elementos carcinógenos, la conjunción de ambos sobre un mismo individuo aumenta el riesgo de cáncer de pulmón. Sin embargo, lo más discutido es el tipo de interacción existente, si es de grado elevado (multiplicativa) o de menor entidad (aditiva o submultiplicativa)^{26,27}. Lo que sí se afirma con rotundidad es que el efecto del radón y el tabaco es sinérgico sobre el cáncer de pulmón²⁸. El informe 8 muertes por cáncer de pulmón en fumadores y en una de cada 4 muertes de personas que nunca habían fumado¹². Recientemente han comenzado a realizarse estudios que relacionan la exposición al radón con polimorfismos genéticos y tabaco en el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón²⁹.

Otros estudios sobre radón y cáncer

Si bien se ha demostrado que el radón produce cáncer de pulmón, su influencia sobre otros cánceres está en entredicho. Diversos estudios en mineros han analizado la relación entre radón y cánceres hematopoyéticos. En uno de estos estudios no se observó que hubiese un mayor riesgo de leucemia en mineros debido a su exposición a radón³⁰. Otro estudio realizado en mineros de la República Checa observó una asociación entre la exposición acumulada a radón con leucemia y leucemia linfática crónica³¹. El riesgo de una exposición elevada a radón frente a una exposición baja fue de 1,75 (IC del 95%, 1,10-2,78) para todas las leucemias combinadas y de 1,98 (IC del 95%, 1,10-3,59) para la leucemia linfática crónica. La leucemia mielóide y el linfoma de Hodgkin también se asociaron con la exposición a radón, pero de modo no significativo.

Otro estudio realizado en Finlandia, que analizó la relación entre radón en el agua de bebida y cánceres de los órganos urinarios, concluyó que, a pesar de que los radionúclidos contenidos en el agua de bebida, sobre todo procedente de pozos, son una fuente de radiación, su consumo no se asocia a un aumento de los cánceres de vejiga y de riñón a las concentraciones habituales en que se encuentra el radón disuelto en el agua de dichos pozos³². Otra investigación también finlandesa no encontró asociación entre el radón disuelto en el agua de pozos y el riesgo de cáncer de estómago³³.

¿Qué medidas se han tomado para proteger a la población de la exposición a radón en Europa, EE.UU. y España?

Ante el problema de salud pública que significa la exposición a concentraciones elevadas de radón, muchas Administraciones públicas de diversos países y otras de carácter supranacional han decidido adoptar medidas para proteger a la población de esta amenaza para la salud.

La legislación europea es variada en cuanto a la protección de la población frente al radón. Existe una recomendación genérica (Euratom, Comisión Europea para la Energía Atómica)³⁴ por la cual no deben sobrepasarse los 200 Bq/m³ en las casas de nueva construcción y los 400 Bq/m³ en las casas ya edificadas. Otros países europeos tienen normativas mucho más elaboradas al respecto, como Irlanda, el Reino Unido o los países nórdicos. De modo genérico, muchos países definen qué son zonas de riesgo en cuanto a exposición a radón (aquellas con una probabilidad elevada de presentar concentraciones altas de radón domiciliario) y qué medidas deben adoptarse en dichas zonas, tales como la mitigación de radón, las características de construcción de nuevas viviendas y las subvenciones disponibles para ello, en su caso.

EE.UU. es el país más avanzado en lo que se refiere al manejo del radón como un riesgo para la salud. Desde la década de los años ochenta la Agencia de Protección Ambiental estadounidense (EPA) ha definido como valor de acción los 148 Bq/m³, a partir del cual deberían adoptarse medidas de protección. Este organismo dispone incluso de folletos para la población en los que se informa de las medidas que pueden adoptarse respecto al radón y de los derechos que tienen los compradores cuando vayan a adquirir una vivienda. Una herramienta de la que se han servido varios países para conocer la concentración de radón en los domicilios ha sido la elaboración de mapas de exposición a radón domiciliario. Así, EE.UU., Canadá, Irlanda, el Reino Unido, Suecia, Finlandia, Alemania, Francia, Suiza, Bélgica y Dinamarca disponen de mapas de radón, en los que se conocen las zonas de elevada emisión, lo que no quiere decir que una vivienda situada fuera de esas zonas no pueda tener concentraciones que signifiquen un riesgo para la salud. En síntesis, puede decirse que toda zona con más del 10% de sus casas por encima de los 148 Bq (EE.UU.) o de los 200 Bq (Europa) se cataloga como de alto riesgo.

En España, las sucesivas Administraciones públicas apenas han hecho nada para proteger a la población frente a este gas carcinógeno, si bien es cierto que no todo el territorio español presenta el mismo riesgo. Las zonas de riesgo son principalmente la sierra de Guadarrama (norte de Madrid), el norte de Extremadura, el este de Castilla y León (Arribes del Duero) y Galicia (donde el radón ha participado, sólo o junto con el tabaco, en 332 muertes por cáncer de pulmón en el año 2001; datos no publicados). Así lo indican los estudios realizados por el Consejo de Seguridad Nuclear⁸ sobre exposición potencial a radón. Estos estudios del MARNA (Mapa de Radiación Natural), basados en 5.000

TABLA 3

Principales objetivos del International Radon Project, patrocinado por la Organización Mundial de la Salud

Identificar estrategias efectivas para disminuir el impacto del radón sobre la salud
Promoción de políticas y programas de prevención y mitigación por parte de las autoridades nacionales
Aumentar la concienciación del público y de los políticos sobre las consecuencias de la exposición a radón
Aumentar la concienciación de las instituciones financieras que otorgan hipotecas respecto al impacto potencial de las concentraciones elevadas de radón sobre el valor de las propiedades
Realizar un seguimiento y revisar periódicamente las medidas de mitigación para asegurar su efectividad
Estimar el impacto global sobre la salud de la exposición a radón residencial a fin de asignar recursos efectivos para mitigar el impacto del radón sobre la salud
Crear una base de datos global (mapas incluidos) sobre exposición a radón residencial

medidas en domicilios y en la extrapolación por modelo matemático a partir de la radiación gamma, clasifican España en 3 zonas básicas de riesgo: bajo, con menos de 150 Bq/m³; medio, entre 150 y 200 Bq/m³, y alto, con más de 200 Bq/m³. Mediciones realizadas también por la Universidad de Cantabria en lugares concretos de España sitúan a Galicia como zona de riesgo alto, ya que más del 10% de las casas superan los 200 Bq/m³. Desde 1992 se han medido las concentraciones del gas en unos 2.000 domicilios gallegos: unos 1.000 corresponden al Mapa de Radón de Galicia⁷, financiado exclusivamente por proyectos de investigación competitivos. Este mapa se inició después de haberse demostrado una relación causal entre el radón y el cáncer de pulmón en el Área Sanitaria de Santiago de Compostela, en un estudio realizado en 1992-1994¹⁸ y financiado por el Fondo de Investigaciones Sanitarias.

Desde el punto de vista legislativo, la única normativa existente que puede tener relación con la exposición a radón es el Decreto 783/2001, de 1 de julio³⁵, sobre protección de los trabajadores y de la población frente a la radiación natural, que especifica en su título VII en qué casos podría haber una exposición elevada a radón, en los cuales los trabajadores podrían demandar a sus contratantes la medición de concentraciones de radón para proteger su salud.

¿Cuáles son las iniciativas internacionales?

En los últimos 2-3 años han surgido diversas iniciativas internacionales con el objetivo, por un lado, de caracterizar y cuantificar el riesgo de cáncer de pulmón debido a la exposición a radón domiciliario y, por otro, de concienciar a las Administraciones públicas gobiernos y ciudadanos del problema de la exposición al radón y de las medidas que pueden adoptarse para minimizar sus riesgos.

En esta primera iniciativa se finalizaron 2 proyectos denominados, respectivamente, European Pooling Study y American Pooling Study. El objetivo era realizar un análisis conjunto de todas las investigaciones efectuadas en Europa y Norteamérica para proporcionar unos riesgos de cáncer de pulmón debidos a la exposición a radón. Estos 2 estudios se publicaron en 2005. En el análisis conjunto (*pooling*) de los estudios norteamericanos, que incluyeron en total 3.662 casos y 4.966 controles, se obtuvo un riesgo lineal de 1,11 (IC del 95%, 1,00-1,28) por cada 100 Bq/m³ de aumento en la concentración de radón domiciliario¹⁷. Esto significa que una persona con 300 Bq/m³ en su domicilio tendría un ries-

go un 33% mayor de desarrollar cáncer de pulmón que una persona sin radón en el domicilio. En el análisis conjunto europeo se incluyeron 7.148 casos y 14.208 controles. En este estudio el riesgo lineal obtenido por cada 100 Bq/m³ fue del 16% (IC del 95%, 5-31%)¹⁶. Esto supone que una persona expuesta a 300 Bq/m³ tendría un 50% más de riesgo de presentar cáncer de pulmón que una persona no expuesta. Actualmente se está trabajando en un análisis conjunto mundial, que tenga en cuenta los datos individuales de todos los estudios incluidos en los 2 anteriores y cuya publicación está prevista para 2007.

La otra iniciativa de proyección internacional es el International Radon Project, patrocinado por la Organización Mundial de la Salud. El objetivo principal es, sobre todo, concienciar a los gobiernos y a los ciudadanos del problema que supone la exposición a radón a concentraciones elevadas. También se pretende identificar las zonas de elevada emisión de radón a través de la realización de mapas e introducir medidas de protección en las diferentes legislaciones, desde valores admisibles hasta características que deben cumplir las edificaciones^{36,37}. Otro objetivo muy concreto es la incorporación del radón al sistema de códigos técnicos de edificación de los diferentes países para prevenir el problema desde su base, algo que, lamentablemente, no se ha hecho en el reciente Código Técnico de Edificación español, publicado en 2006³⁸. Otros objetivos más específicos son identificar un modelo de riesgo para el cáncer de pulmón asociado al radón, estimar la carga mundial de mortalidad por cáncer de pulmón asociada a la exposición a radón y establecer una base de datos mundial sobre radón, además de desarrollar herramientas para la comunicación de riesgos sobre este carcinógeno. Ya se han celebrado 2 reuniones en Ginebra con la presencia de expertos internacionales, la última de ellas en marzo de 2006. La próxima reunión de expertos tendrá lugar en Munich en marzo de 2007. En la tabla 3 se recogen los objetivos del International Radon Project.

Conclusiones

El radón produce cáncer de pulmón y es, después del tabaco, el segundo factor de riesgo de esta enfermedad. El riesgo de cáncer de pulmón es aún más elevado si los expuestos son fumadores. Por esta razón, muchos países y Administraciones internacionales han tomado conciencia de sus responsabilidades a la hora de proteger e informar a la población. Pensamos que ha llegado el momento de que esto también ocurra en España. Es necesario que los profesionales sanitarios, los ciudadanos y, sobre todo, las Administraciones públicas, el gobierno, con los Ministerios de Sanidad y Vivienda, las comunidades autónomas y los municipios de las zonas en que el radón representa un mayor riesgo, tomen las medidas necesarias ante este problema grave de salud pública.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 43. Man-made mineral fibres and radon. Lyon: IARC; 1988.
2. Pascual Benes A. NTP 533: El radón y sus efectos sobre la salud. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales; 1999.
3. U. S. Environmental Protection Agency. EPA assessment of risks from radon in homes. June 2003 [consultado 31/10/2006]. Disponible en: <http://www.epa.gov/radiation/docs/assessment/402-r-03-003.pdf>
4. Korhonen P, Halonen R, Kallioikoski P, Kokotti H. Indoor radon concentrations caused by construction materials in 23 workplaces. Sci Tot Environ. 2001;272:143-5.

5. Sundal AV, Henriksen H, Soldal O, Strand T. The influence of geological factors on indoor radon concentrations in Norway. *Sci Tot Environ*. 2004; 328:41-53.
6. Quindós LS, Fernández PL, Soto J. National survey on indoor radon in Spain. *Environ Int*. 1991;17:449-53.
7. Barros-Dios JM, Ruano-Ravina A, Gastelu-Iturri J, Figueiras A. Factors underlying residential radon concentration. Results from Galicia, Spain. *Environ Res*. 2007;103:185-90.
8. Quindós LS, Fernández PL, Soto J. Study of areas of Spain with high indoor radon. *Rad Measurements*. 1995;24:207-10.
9. Martín Matarranz JL. Concentración de radón en domicilios españoles. Otros estudios de radiación natural. Madrid: Consejo de Seguridad Nuclear. Informe Técnico n.º 13.
10. Pavia M, Bianco A, Pileggi C, Angelillo IF. Meta-analysis of residential radon exposure to radon gas and lung cancer. *Bull World Health Org*. 2003; 81:732-8.
11. Pershagen G, Akerblom G, Axelsson O, Clavensjö B, Damber L, Desai G, et al. Residential radon exposure and lung cancer in Sweden. *N Engl J Med*. 1994;330:159-64.
12. National Academy of Sciences. Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI. Washington DC: National Academy Press; 1999.
13. Xuan XZ, Lubin JH, Li JY, Young LFL, Luo QS, Yang L, et al. A cohort study in southern China of workers exposed to radon and decay products. *Health Phys*. 1993;64:120-31.
14. Woodward A, Roder D, McMichael AJ, Crouch P, Mylvaganam A. Radon daughter exposures at the radium H:11 uranium mine and lung cancer rates among former workers, 1952-87. *Cancer Causes Control*. 1991; 2:213-20.
15. National Academy of Sciences. Health risks of radon and other internally deposited alpha-emitters: BEIR IV. Washington DC: National Academy Press; 1988.
16. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*. 2005;330:223-6.
17. Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M, Catalan VS, Field RW, et al. Residential radon and risk of lung cancer. A combined analysis of 7 North American case-control studies. *Epidemiology*. 2005;16:137-45.
18. Barros-Dios JM, Barreiro MA, Ruano-Ravina A, Figueiras A. Exposure to residential radon and lung cancer in Spain. A population-based case-control study. *Am J Epidemiol*. 2002;156:548-55.
19. Lubin JH, Wang ZY, Boice JD, Xu ZY, Blot WJ, Wang LD, et al. Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies. *Int J Cancer*. 2004;109:132-7.
20. Bochicchio F, Forastiere F, Carchi S, Cuarto M, Axelsson O. Residential radon exposure, diet and lung cancer: a case-control study in a Mediterranean region. *Int J Cancer*. 2005;114:983-91.
21. Kreienbrock L, Kreuzer M, Gerken M, Dingerkus G, Wellman J, Keller G, et al. Case-control study on lung cancer and residential radon in Western Germany. *Am J Epidemiol*. 2001;135:42-52.
22. Baysson H, Timarche M, Tymen G, Gouva S, Caillaud D, Artus JC. Indoor radon and lung cancer in France. *Epidemiology*. 2004;15:709-16.
23. Letourneau EG, Krewski D, Choi NW, Goddard MJ, McGregor RG, Zielinski JM, et al. Case-control study of residential radon and lung cancer in Winnipeg, Manitoba, Canada. *Am J Epidemiol*. 1994;140: 310-22.
24. Alavanja MCR, Lubin JH, Mahaffey JA, Brownson RC. Residential radon exposure and risk of lung cancer in Missouri. *Am J Public Health*. 1999; 89:1042-8.
25. Auvinen A, Makelainen I, Hakama M, Castren O, Pukkala E, Reisbacka H, et al. Indoor radon exposure and risk of lung cancer: a nested case-control study in Finland. *J Natl Cancer Inst*. 1996;88:966-72.
26. Moolgavkar SH, Luebeck EG, Krewski D, Zielinski JM. Radon cigarette smoke and lung cancer: a re-analysis of the Colorado Plateau uranium miners' data. *Epidemiology*. 1993;4:204-17.
27. Samet JM, Pathak DR, Morgan MV, Key CR, Valdivia AA, Lubin JH. Lung cancer mortality and exposure to radon progeny in a cohort of New Mexico underground uranium miners. *Health Phys*. 1991;61:745-52.
28. EPA. EPA Assessment of risks from radon in homes. Washington DC: Office of Radiation and Indoor Air. United States Environmental Protection Agency; 2003.
29. Bonner MR, Bennett WP, Xiong W, Lan Q, Brownson RC, Harris CC, et al. Radon, secondhand smoke, glutathione-S-transferase M1 and lung cancer among women. *Int J Cancer*. 2006;119:1462-7.
30. Möhner M, Lindtner M, Otten H, Gille HG. Leukemia and exposure to ionizing radiation among German Uranium miners. *Am J Ind Med*. 2006; 49:238-48.
31. Rericha V, Kulich M, Rericha R, Shore DL, Sandler DP. Incidence of leukemia, lymphoma, and multiple myeloma in Czech uranium miners: a case-cohort study. *Env Health Perspect*. 2006;114:818-22.
32. Kurtio P, Salonen L, Ilus T, Pekkanen J, Pukkala E, Auvinen A. Well water radioactivity and risk of cancers of the urinary organs. *Environ Res*. 2006;102:333-8.
33. Auvinen A, Salonen L, Pukkala E, Ilus T, Curtio P. Radon and other natural radionuclides in drinking water and risk of stomach cancer: a case-cohort study in Finland. *Int J Cancer*. 2005;114:109-13.
34. 90/143/Euratom: commission recommendation of 21 February 1990 on the protection of the public against indoor exposure to radon. Disponible en: <http://europa.eu.int/comm/environment/radprot/legislation/90143.pdf>
35. Ministerio de la Presidencia. RD 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. BOE n.º 178. p. 27284-393.
36. Organización Mundial de la Salud. Disponible en: http://www.who.int/ionizing_radiation/env/radon/en/
37. Lao KQ. Controlling indoor radon. Mesasurement, mitigation and prevention. New York: Van Nostrand Reinhold; 1990.
38. Ministerio de la Vivienda. RD 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de Edificación. BOE, n.º 74, de 28 de marzo de 2006.