

Radón, ¿riesgo real para la salud pública?



FRANCISCO MARQUÉS
MARQUÉS

*Doctor en Medicina.
Máster en Salud Pública.
Centro Nacional de Medios de
Protección.
Instituto Nacional de Seguridad e
Higiene en el Trabajo (Sevilla).*

M.º JOSÉ BERENGUER SUBILS

*Lda. en Ciencias Químicas
Centro Nacional de Condiciones
de Trabajo.
Instituto Nacional de Seguridad e
Higiene en el Trabajo (Barcelona).*

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de la población pasa, al menos, el 75 por 100 del tiempo en ambientes cerrados, y en ciertos casos (niños, enfermos crónicos y ancianos) esta cifra se eleva al 90 por 100. Este hecho explica, por sí solo, el creciente interés que, ante la posible presencia de contaminantes ambientales, está adquiriendo la vigilancia y control de la calidad del aire en espacios interiores (Esmen, 1985).

Desde el punto de vista de la contaminación radiactiva, en los últimos años, los científicos han comenzado a darse cuenta de que la fuente más importante de radiación natural es un gas incoloro, insípido e inodoro siete veces y media más pesado que el aire, denominado radón.

Este gas radiactivo se halla presente en la corteza terrestre por desintegración del radio, que, a su vez,

SUMARIO

Con este artículo, los autores desean llamar la atención hacia el radón, un gas poco conocido para la mayoría de la gente, que se produce por la desintegración natural del radio y que se acumula, debido a su alta densidad (siete veces y media más pesado que el aire), en el aire de los modernos edificios a causa de la falta de ventilación de éstos. El principal efecto de la exposición a este gas radiactivo lo constituye su asociación con el cáncer de pulmón.

Palabras clave: Radón, contaminación radiactiva, cáncer de pulmón.

procede del uranio y se propaga desde la corteza terrestre a la atmósfera, dependiendo de la porosidad del suelo, de la concentración local de ^{226}Ra , de la temperatura y de la presión atmosférica (Akerblom *et al.*, 1984).

Presente, sobre todo, en las minas de uranio, el radón sufre una desintegración rápida, dando lugar a una serie de productos descendientes (radionucleidos formados en el proceso de desintegración), que son fácilmente absorbidos por las partículas de polvo en suspensión. Esto conduce a la presencia de aerosoles radiactivos formados por partículas de tamaño inferior a $1\ \mu\text{m}$, pero que pueden condensarse.

La serie de desintegración del ^{238}U se presenta en la figura 1, en la que se indica, además, la vida media (años, meses, semanas y días) de cada radionucleido y el tipo de partículas emitidas en el proceso.

UNIDADES DE MEDIDA Y LÍMITES DE SEGURIDAD RECOMENDADOS

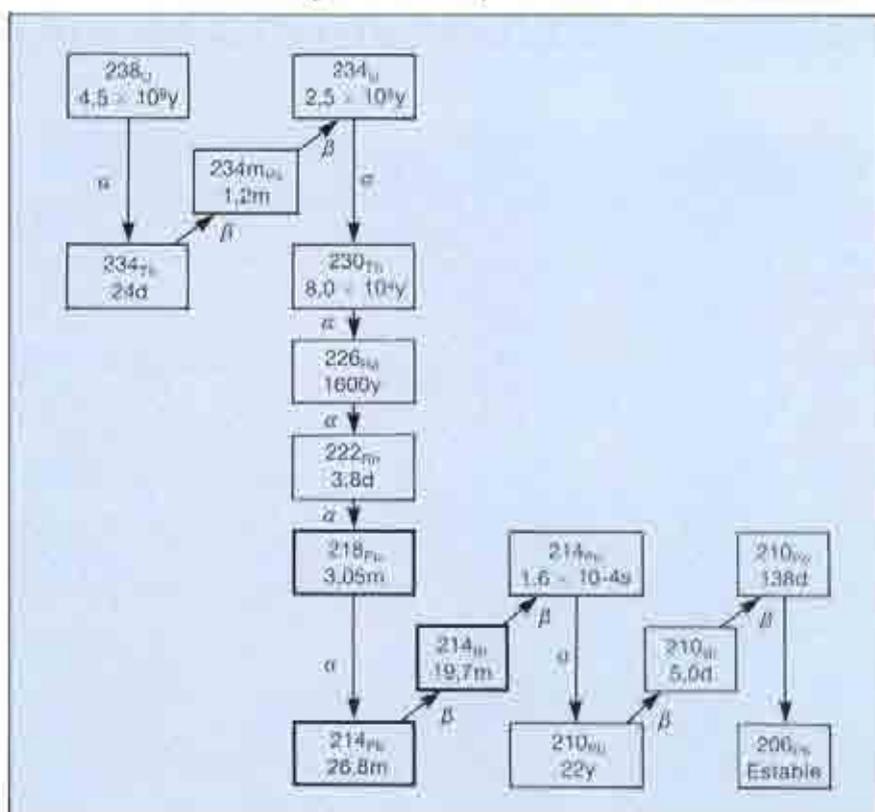
La actividad del radón se mide, tradicionalmente, en curios (Ci). En la actualidad la medida legal es el bequerelio (Bq), que es la unidad del sistema internacional y representa la actividad de una fuente que experimenta una transformación radiactiva por segundo. La equivalencia entre ambas unidades es:

$$1\ \text{Bq} = 2,7 \times 10^{-11}\ \text{Ci}$$

La concentración de radón en aire se expresa en Bq/m^3 , y la concentración de los productos descendientes del radón, expresada como concentración equivalente de equilibrio del radón (EER), se expresa en Bq/m^3 EER, la cual se obtiene multiplicando la concentración de gas radón por un factor de equilibrio, que en la mayoría de los casos oscila entre 0,3 y 0,5.

Por motivos históricos, la exposición laboral a radón se expresa en «niveles de trabajo» (Working Level, WL). Un WL se define como una concentración de energía alfa potencial de $1,3 \times 10^5$ Mev/L de aire, y corresponde, aproximadamente, a la concentración de energía alfa potencial de descendientes de radón de período corto que se encuentran en equilibrio radiactivo, con una concentración de radón de $3.700\ \text{Bq}/\text{m}^3$ de aire ($100\ \text{pCi}/\text{L}$). Esta exposición suele expresarse en WLM (Working Level Month) y se refiere a la concentración de 1 WL para el período de referencia de 168-170 horas (21 días

FIGURA 1. Serie de desintegración del ^{238}U y vida media de los radionucleidos.



El radón se concentra en el aire de los edificios al constituir éste un espacio cerrado. Una vez que el gas penetra por filtración a través del suelo, o procedente de los materiales de construcción, es difícil que salga si no se produce una aireación amplia

de 8 h). El límite para una exposición profesional en minas de uranio ha sido fijado, por la Mine Safety and Health Administration, en 4 WLM/año. Estudios recientes han demostrado que la exposición a 4 WLM/año en edades de 20-40 años multiplica por un factor de 1,6 las muertes por cáncer. En muchos de

estos casos, el mayor incremento se da en fumadores, para quienes el riesgo es hasta 10 veces mayor que en los no fumadores (Fabrikant, 1990).

El National Council on Radiation Protection (NCRP), en 1984, estimó los niveles normales de radón al aire libre en $0,2\ \text{pCi}/\text{L}$ ($7\ \text{Bq}/\text{m}^3$). Posteriormente, en 1987, estimó la magnitud de la exposición en 2 mSv, siendo el mSv la unidad utilizada para medir la dosis recibida por los tejidos, y concluyó diciendo que el radón es responsable de más del 50 por 100 de la dosis media equivalente efectiva de la población, es decir, 1 mSv/año (NCRP, 1987). A partir de los datos disponibles estableció un nivel de acción cuando el promedio anual de exposición a radón excediera los $8\ \text{pCi}/\text{L}$ ($300\ \text{Bq}/\text{m}^3$).

Por su parte la Environmental Protection Agency (EPA) había aconsejado, en 1986, iniciar una intervención gradual (*action level*) cuando en ambientes interiores se superen los $4\ \text{pCi}/\text{L}$ ($148\ \text{Bq}/\text{m}^3$) (Evdokimoff, 1992). Así, entre 4-20 pCi/L recomienda acciones que permitan reducir la concentración en unos años. Entre 20-200 pCi/L , la reducción ha de lograrse en meses y a un valor igual, o superior; a 200 pCi/L , la reducción ha de lograrse en semanas o hay que desplazar a los ocupantes hasta que esos niveles disminuyan.

En la figura 2 se representa la relación existente, en Estados Unidos, entre la radiación debida al radón y otras fuentes naturales y la derivada de la actividad humana, incluyendo la generada por actividades médicas, centrales nucleares, y la relacionada con los productos de consumo.

En nuestro entorno, la Unión Europea ha publicado, en febrero de 1990, una Recomendación de la Comisión relativa a la protección de la población contra los peligros de una exposición al radón en el interior de los edificios (90/143/EURATOM). Esta Recomendación, basada en el informe presentado, en 1987, por un grupo de trabajo de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), establece, para los edificios ya existentes, un nivel de referencia correspondiente a dosis equivalente efectiva de 20 mSv/año, lo que viene a suponer una concentración media anual de gas radón de 400 Bq/m³. Para las futuras construcciones la Comisión reduce este valor a 200 Bq/m³.

Por su parte, la Organización Mundial de la Salud efectuó una estimación, para exposiciones a productos descendientes del radón, expresada como concentración equivalente de equilibrio de radón de 1 Bq/m³ EER, del exceso de riesgo de por vida para el cáncer de pulmón entre $0,7 \times 10^{-4}$ y $2,1 \times 10^{-4}$, recomendado, para la toma de acciones en edificios, el nivel de ≥ 100 Bq/m³ EER (promedio anual).

PROFESIONES CON RIESGOS

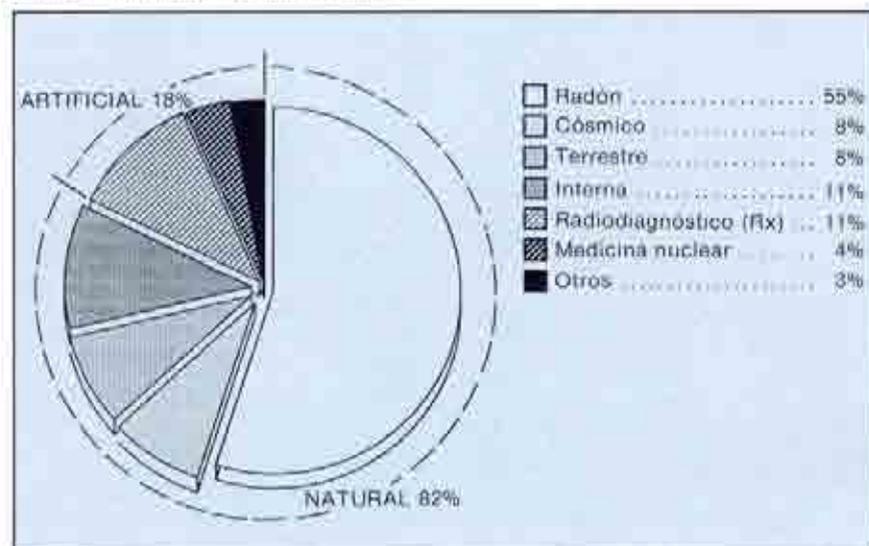
La exposición a radón, por parte de la población general, es, en con-

diciones normales, muy baja, ya que la concentración de este gas en la atmósfera se estima en 3 Bq/m³, con un intervalo de 0,1 (sobre el océano) a 10 Bq/m³, medidos en términos de radiactividad (WHO, 1987).

Más importante es la exposición de los trabajadores de las minas, en especial las de uranio, y la de las personas que trabajan con radio y sus compuestos en ambientes cerrados (Roscoe, 1989). En estos casos es posible la acción sobre el organismo, ya sea por inhalación o por ingestión del radón y sus «descendientes». El radón, una vez absorbido, se elimina, en un 90 por 100, por el aire exhalado, mientras que sus descendientes lo hacen principalmente a través de la orina y heces.

El radón es un gas radiactivo que se encuentra en la corteza terrestre, proveniente de la desintegración del radio.

FIGURA 2. Porcentaje del radón y otras fuentes de radiaciones ionizantes en la dosis efectiva equivalente en Estados Unidos.



EL RADÓN EN ESPACIOS INTERIORES

En el proceso de desintegración del uranio se forma radón, y tanto él como sus descendientes pueden penetrar en el edificio (por filtrado) procedentes del subsuelo o liberados por los materiales de construcción empleados. En algunas zonas de Pennsylvania se llegaron a medir cantidades superiores a las permitidas para las minas de uranio (Evans et al., 1981).

La mayor parte de los suelos y materiales rocosos, especialmente los graníticos, contienen uranio en una proporción de 1-4 ppm, si bien en algunas zonas de Estados Unidos se han encontrado hasta 120 ppm.

El radón se concentra en el aire de los edificios al constituir éste un espacio cerrado. Una vez que el gas penetra por filtración a través del suelo, o procedente de los materiales de construcción, es difícil que salga si no se produce una aireación amplia (recordemos que es siete veces más pesado que el aire) (Cothorn, 1990).

Los materiales de construcción más comunes (ladrillo, hormigón, madera) desprenden poco radón. El granito es mucho más radiactivo, como lo es también la piedra pómez (muy utilizada en países del Este). Otras fuentes domésticas de radón son el gas natural y el agua corriente (cuando ésta es obtenida de pozos profundos), ya que radón se incorpora a ellos en el subsuelo (Fig. 3).

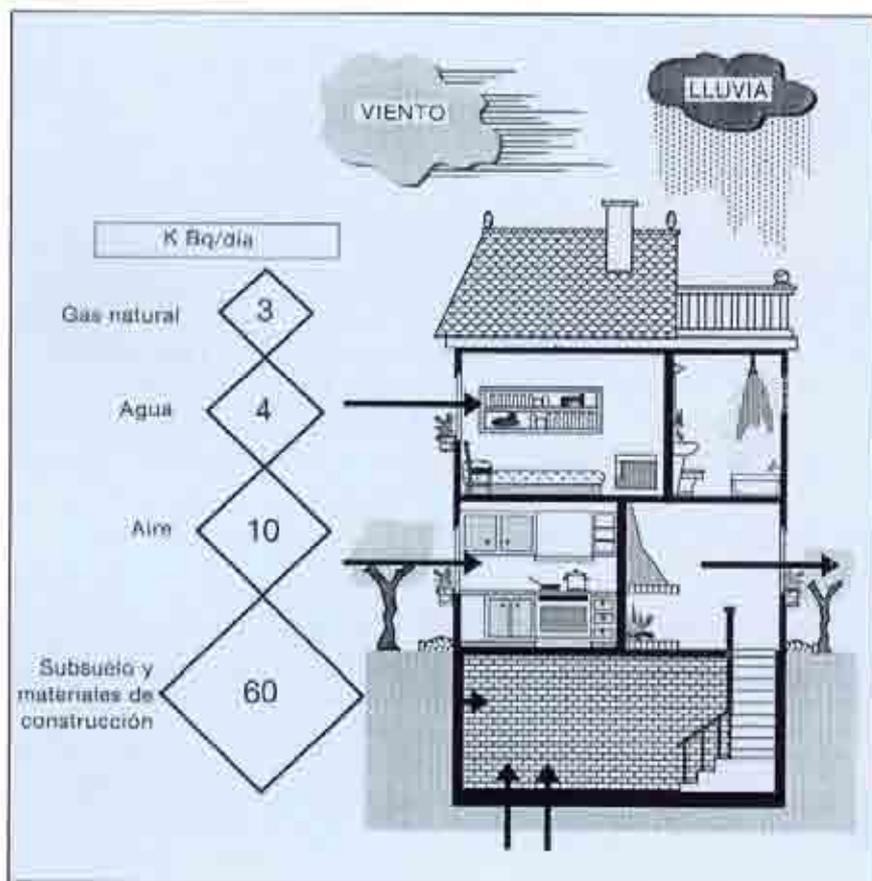
El consumo de agua no comporta un riesgo apreciable, ya que al hervirse, o cocinarse con ella, se libera la mayor cantidad de radón, y la ingesta de agua fría favorece una rápida eliminación del radón contenido en ella. Sin embargo, en algunas regiones, como Finlandia, Maine y en Iowa, se han detectado importantes cantidades de radón en el agua.

A veces, el problema se plantea durante el baño, ya que el radón —presente en el agua y en el gas natural— se acumula cuando el ambiente es cálido y cerrado. Es por ello que la política mundial de ahorro energético mediante el aislamiento térmico ha agravado la situación, al hacer más difícil la salida del gas, como consecuencia de la disminución de la renovación del aire (Pritchard et al., 1983).

RIESGOS PARA LA SALUD

Se ha estimado que los descendientes del radón, incorporados o mezclados con otros gases, transmi-

FIGURA 3. Fuentes de radón en el aire de espacios interiores.



Los materiales rocosos y especialmente los graníticos, contienen uranio en una proporción de 1 a 4 ppm.

ten, aproximadamente, el 95 por 100 de la radiación alfa (α).

El principal efecto de la exposición a este gas radiactivo lo constituye su asociación con el cáncer de pulmón. Las partículas alfa generadas fuera del organismo no atraviesan la piel sana. Sin embargo, las partículas de polvo que han absorbido descendientes del radón se depositan en la superficie de las vías respiratorias, emitiendo dosis importantes de radiación α y lesionando el material genético de las células basales.

Una vez inhalado, el radón, que es liposoluble, es transportado por la sangre y penetra en varios órganos y tejidos, dependiendo de su contenido en grasa. Se estima que del 50-90 por 100 de la carga corporal de radón se localiza en los tejidos grasos, y se ha calculado que, en un estado de equilibrio, 1 cm³ de tejido contiene un 45 por 100 del radón presente en 1 cm³ de aire ambiental inhalado.

La relación entre radón y cáncer de pulmón es conocida desde mediados del siglo XVI, si bien la demostración epidemiológica no se produjo hasta 1879, cuando se observó que, entre los trabajadores de las minas de uranio de Schneeberg (Alemania) y Checoslovaquia, la mortalidad por cáncer de pulmón alcanzaba el 50 por 100. Ello dio lugar a que se acuñase el nombre de «cáncer pulmonar de Schneeberg» (Greenberg, 1993).

Ya hemos comentado que la inhalación de radón favorece la aparición de un cáncer de pulmón, si bien no está claro si actúa como iniciador o promotor (Puskin, 1988). Otro riesgo añadido viene determinado por la finidad que algunos descendientes del radón (²¹⁰Po, ²¹⁴Bi, ²¹⁰Pb) tienen por el riñón. Más recientemente se ha asociado la exposición al radón con un aumento de la mortalidad por cáncer de hígado, así como de conductos biliares (Tomasek, 1993).

Un resumen de los principales estudios que han relacionado al gas radón con el cáncer de pulmón se presenta en las Tablas 1 y 2.

Pese al gran avance epidemiológico de los últimos años, la estimación real del riesgo derivado del radón en interiores es, sin embargo, incierta, ya que, además de ser numerosos los factores que intervienen en la práctica (Tabla 3), existen, desde el punto de vista de los datos disponibles, las siguientes razones:

a) Los modelos de estimación del riesgo se basan en datos procedentes de la exposición en las minas de ura-

TABLA 1. Principales estudios caso-control que han relacionado el cáncer de pulmón con la exposición a gas radón presente en ambientes interiores y en minas

Autor/Año	Número de casos y controles	Riesgo relativo (OR)	Intervalos de confianza (IC)/Comentarios
Axelsson, 1979	37/178	1.8	IC (90%) 0.99-3.2
Edling, 1984	23/202	> 4.3	IC (90%) 1.7-10.8
Pershagen, 1992	210/400	1.7	IC (95%) 1.0-2.9 Mujeres que habían tenido una exposición media a radón mayor de 148 Bq/m ³ (4 pCi/L)
Damber & Larson, 1986	604/(467 × 2 × 137)	> 2.0	IC (95%) 1.0-4.0
Svensson, 1987	292/584	2.2	IC (95%) 1.2-4.0
Svensson, 1989	210/209	1.8	IC (95%) 1.2-2.9 (Exposición intermedia)
		1.7	IC (95%) 0.9-3.3 (Exposición alta)
Leek, 1987	27/49	> 11.9	El riesgo de 11.9 corresponde a una exposición de 10 WLM
Lubin, 1990	74/74	1.7	IC (95%) 0.5-5.4 Mineros de estaño en China. El exceso de riesgo relativo se calculó para un WLM acumulado.
Schoenberg, 1990	433/402	1.1	IC (90%) 0.79-1.7 Exp. 1.0-1.9 pCi/L
		1.3	IC (90%) 0.62-2.9 Exp. 2.0-3.9 pCi/L
		1.3	IC (90%) 0.99-17.5 Exp. 4.0-11.3 pCi/L

TABLA 2. Principales estudios de cohortes sobre cáncer de pulmón y exposición a gas radón

Autor/Año/País	Grupo estudiado	SMR ^a	Intervalo de confianza (IC)/Comentarios
Block, 1988 (Estados Unidos)	3.451	2.48	Minas de fosfatos. Datos para exposiciones superiores a 20 años
Battista, 1988 (Italia)	1.899	1.31	IC (95%) 0.97-1.75 Minas de pirita
Klotz, 1989 (Estados Unidos)	752	1.5	IC (95%) 0.7-2.7 (Exposición por residencia)
Chen, 1990 (China)	5.406	3.7	Resultados globales
		4.8	En exposiciones previstas a la mejora en ventilación e higiene industrial
		5.3	Historia de silicosis
		6.6	Historia de silicotuberculosis
Kuslak, 1991 (Canadá)	54.128	1.3	IC (95%) 1.15-1.45
Samet, 1991 (Estados Unidos)	3.469	4.0	IC (95%) 3.1-5.1 Los datos sugieren interacción multiplicativa entre exposición a radón y tabaco
Amandus, 1991 (Estados Unidos)	369	1.73	IC (95%) 0.94-2.90 Estudio con silicóticos
	9.543	1.18	IC (95%) 0.98-1.42 Estudio en no silicóticos

^a SMR: Razón de Mortalidad Estandarizada.

nio. Ello puede estar produciendo sesgos importantes relacionados con la validez de las mediciones, tasas de ventilación, cantidad de polvo presente, presencia de otros contaminantes (hidrocarburos, humo de tabaco, etc.).

b) Las variables que modifican la frecuencia respiratoria (carga de trabajo, temperatura), la respiración bucal o nasal, las características del moco bronquial, la edad y el sexo, son otras variables biológicas cuya influencia no es bien conocida. Esto hace que la información disponible de los mineros no sea extrapolable a los ocupantes de viviendas (Nero, 1983).

c) No han sido suficientemente estudiados los aspectos ligados a las propiedades físicas, tamaño de las partículas, patrón de deposición sobre el árbol bronquial, grado de equilibrio entre el radón y sus descendientes así como su reactividad, etc.

d) La interacción de los descendientes del radón con otros contaminantes, principalmente el humo del tabaco, si bien parece indiscutible, presenta diferencias según se aborde desde un modelo aditivo o multiplicativo (Xuán, 1993; Piao, 1993).

Para una actualización de los aspectos epidemiológicos, aconsejamos al lector la reciente revisión efectuada por Samet (1993).

TABLA 3. Factores relacionados con la concentración de radón en ambientes interiores

— Composición geológica del subsuelo (Nero, 1983)
— Existencia de aguas subterráneas
— Materiales de construcción empleados (Eisenbud, 1984)
— Sistema de ahorro energético
— Tasa de ventilación (Nero, 1983)
— Temperatura, humedad y presión atmosférica
— Factores estacionales (Eisman, 1985)
— Cantidades de radón presentes en el agua de consumo y gas natural (Hess <i>et al.</i> , 1985)
— Hábitos y actividad de los ocupantes

Confeccionada a partir de los datos del Council on Scientific Affairs. JAMA, 1987, 265 (5), 668-672.

PREVENCIÓN

En actividades industriales, las medidas preventivas de tipo técnico pasan por el blindaje hermético de los procesos, una buena automatización y una ventilación adecuada. El aire

procedente de la ventilación de lugares contaminados debe evacuarse a la atmósfera a través de filtros, con objeto de asegurar la retención de los radionucleidos. El radón presente en el medio ambiente puede determinarse midiendo las radiaciones alfa.

La prevención médica se basa principalmente en la identificación de los sujetos más sensibles (broncopatas, enfermos renales, etc.). La determinación de radón en el aire exhalado y del ^{210}Po y ^{210}Pb en orina es también de utilidad.

Un aspecto importante es el efecto sinérgico de otras sustancias sobre el riesgo de cáncer de pulmón, que para el tabaco se ha demostrado que sigue un modelo entre aditivo y multiplicativo (Damber, 1986; Xuan, 1993; Piao, 1993). Para otros, la hipersecreción bronquial producida por el hábito tabáquico protegería al pulmón de los fumadores de las radiaciones alfa emitidas por los descendientes del radón (Axelson, 1978).

Para algunos autores (Cothorn, 1990), de todas las muertes producidas por cáncer de pulmón atribuidas al tabaco, 100.000 serían imputables al radón. El Environmental Protection Agency (EPA), organismo americano de protección del medio ambiente, estima que, aproximadamente, entre un 8 y un 25 por 100 de las muertes anuales por cáncer de pulmón —115.000 en 1983—, podrían ser debidas a la exposición al radón existen en el aire de espacios interiores (Puskin, 1988).

En este sentido, Nero (1983), asumiendo, en las viviendas, una concentración media de 1 pCi/L (0,037 Bq/L) y que la mayoría de la población permanece las 2/3 partes de su tiempo en espacios cerrados, estimó la exposición individual media en 0,2 WLM/año. Con estos datos sugirió que un mínimo de 1.000 y un máximo de 20.000 de las muertes debidas al cáncer de pulmón se deberían a la exposición a radón. Con estos mismos datos, la National Academy of Sciences americana estimó en 13.000 las muertes anuales, y la EPA, entre 5-20.000 (Harley, 1990).

No hay que olvidar, sin embargo, el papel que pueden jugar otros contaminantes presentes en el microclima ambiental —asbesto, sílice, arsénico, cromo, níquel, hidrocarburos, etc.— (Fishbein, 1992).

CONCLUSIÓN

La exposición a radón constituye un riesgo demostrado para el des-

arrollo de diversos tipos de cáncer, sobre todo cuando se asocia a otros cancerígenos ambientales. No obstante, para algunos autores, suprimir el hábito tabáquico es considerablemente más beneficioso que evitar la exposición al radón (Ennever, 1990).

En definitiva, quedan importantes interrogantes por contestar, y sólo estudios epidemiológicos, de amplia base poblacional, podrán aportar luz a este tema. Algunas de las preguntas a las que deberán responder estos estudios son:

1. En la inducción del cáncer de pulmón, ¿cuál es la relación entre la exposición a radón y tabaco?

2. ¿El radón juega algún papel en la ocurrencia de cáncer de pulmón en individuos no fumadores?

3. ¿Cuál es la correlación existente entre los niveles de radón de algunas regiones y las tasas de mortalidad por cáncer de los habitantes de esas regiones?

4. ¿Qué relación hay entre la exposición al radón y los clústers esporádicos de leucemia y cáncer?

5. ¿Cómo se correlacionan las características geológicas específicas con los altos niveles ambientales de radón en algunas zonas del globo?

6. ¿Comportan algún riesgo real los niveles de radón presentes en el agua de consumo?

Para dar respuesta a estos y a otros interrogantes se ha sugerido la necesidad de realizar un amplio estudio de metaanálisis, valorando todos los resultados obtenidos de los diversos estudios realizados (Lubin, 1990; Moolgavkar, 1993).

BIBLIOGRAFÍA

AKERBLOM, G., ANDERSSON, P. y CLAVENSJOE, B.: «Soil gas radon - a source for indoor radon daughters», *Radiat Prot Dosim*, 1984; 7:49-54.

AMANDUS, H. y COSTELLO, J.: «Silicosis and lung cancer in U.S. metal miners», *Arch Environ Health*, 1991; 46 (2): 82-9.

AXELSON, O. y SUNDELL, L.: «Mining, lung cancer and smoking», *Scand J Work Environ Health*, 1978; 4: 46-52.

AXELSON, O.; EDLING, C. y KLING, H.: «Lung cancer and residency - a case referent study on the possible impact of the exposure to radon and its daughters in dwellings», *Scand J. Work Environ Health*, 1979, 5: 10-15.

BATTISTA, G.; BELLI, S.; CARBONCINI, F.; COMBA, P.; LEVANTE,

G.; SARTORELLI, P.; STRAMBI, F.; VALENTINI, F. y AXELSON, O.: «Mortality among pyrite miners with low-level exposure to radon daughters», *Scand J Work Environ Health*, 1988; 14 (5): 280-5.

BLOCK, G.; MATANOSKI, G. M.; SELTSER, R. y MITCHELL, T.: «Cancer morbidity and mortality in phosphate workers», *Cancer Res*, 1988; 48 (24 Pt 1): 7.298-303.

CHEN, S. Y.; HAYES, R. B.; LIANG, S. R.; LI, Q. G.; STEWART, P. A. y BLAIR, A.: «Mortality experience of haematite mine workers in China», *Br J Ind Med* 1990; 47 (3): 175-81.

COTHERN, C. R.: «Indoor air radon», *Rev Environ Contam Toxicol*, 1990; 11: 1-60.

COUNCIL ON SCIENTIFIC AFFAIRS (Report): «Radon in Homes», *JAMA*, 1987; 258 (5): 668-672.

DAMBER, L. y LARSSON, L. G.: «Smoking and lung cancer with special regard to type of smoking and type of cancer: a case-control study in north Sweden», *Br J Cancer*, 1986; 53: 673-681.

EDLING, C.; KLING, H. y AXELSON, O.: «Radon in homes: A possible cause of lung cancer», *Scand J Work Environ Health*, 1984; 10: 25-34.

ENNEVER, F. K.: «Predicted reduction in lung cancer risk following cessation of smoking and radon exposure», *Epidemiology*, 1990; 1 (2): 134-40.

ESMEN, N. A.: «Status of indoor air pollution», *Environ Health Perspec*, 1985; 62: 259-265.

EVANS, R. D.; HARLEY, J. H.; JACOBI, W. y *et al.*: «Estimate of risk from environmental exposure to radon-222 and its decay products», *Nature* 1981; 290: 98-100.

EVDOKIMOFF, V. y OZONOFF, D.: «Compliance with EPA guidelines for follow-up testing and mitigation after radon screening measurements», *Health Phys* 1992; 63 (2): 215-7.

FABRIKANT, J. I.: «Radon and lung cancer: the BEIR IV Report», *Health Phys*, 1990; 59 (1): 89-97.

FISHBEIN, L.: «Exposure from occupational versus other sources», *Scand J Work Environ Health*, 1992; 18 Suppl 1: 5-16.

GREENBERG, M. y SELIKOFF, I. J.: «Lung cancer in the Schneeberg mines: a reappraisal of the data reported by Harting and Heße in 1879», *Ann Occup Hyg*, 1993; 37 (1): 5-14.

HARLEY, N. H. y HARLEY, J. H.: «Potential lung cancer risk from indoor radon exposure», *CA Cancer J Clin*, 1990; 40 (5): 265-75.



El radón, presente en el medio ambiente puede determinarse midiendo las radiaciones alfa

- KLOTZ, J. B.; PETIX, J. R. y ZAGRANISKI, R. T.: «Mortality of a residential cohort exposed to radon from industrially contaminated soil», *Am J Epidemiol*, 1989; 129 (6): 1.179-86.
- KUSIAK, R. A.; SPRINGER, J.; RITCHIE, A. C. y MULLER, J.: «Carcinoma of the lung in Ontario gold miners: possible aetiological factors», *Br J Ind Med*, 1991; 48 (12): 808-17.
- LEES, R. E.; STEELE, R. y ROBERT, J. H.: «A case-control study of lung cancer relative to domestic radon exposure», *Int J Epidemiol*, 1987; 16: 7-12.
- LUBIN, J. H.; QUIAO, Y. L.; TAYLOR, P. R.; YAO, S. X.; SCHATZKIN, A.; MAO, B. L.; RAO, J. Y.; XUAN, X. Z. y LI, J. Y.: «Quantitative evaluation of the radon and lung cancer association in a case control study of Chinese tin miners», *Cancer Res*, 1990; 50 (1): 174-80.
- NERO, A. V.; BOEGEL, L.; HOLLOWELL, C. D.; INGERSOLL, J. G. y NAZAROFF, W. W.: «Radon concentrations and infiltration rates measured in conventional and energy-efficient houses», *Health Phys*, 1983; 45: 401-405.
- PERSHAGEN, G.; LIANG, Z. H.; HRUBEC, Z.; SVENSSON, C. y BOICE, J. D. Jr.: «Residential radon exposure and lung cancer in Swedish women», *Health Phys*, 1992; 63 (2): 179-85.
- PIAO, C. Q. y HEI, T. K.: «The biological effectiveness of radon daughter alpha particles. I. Radon, cigarette smoke and oncogenic transformation», *Carcinogenesis*, 1993; 14 (3): 497-501.
- PRITCHARD, H. M.; GESELL, T. F.; HESS, C. T. y *et al.*: «Integrated radon data from dwellings in Maine and Texas», *Health Phys*, 1983; 45: 428-432.
- PUSKIN, J. S. y YANG, Y.: «A retrospective look at Rn-induced lung cancer mortality from the viewpoint of a relative risk model», *Health Physics*, 1988; 54: 635-643.
- ROSCOE, R. J.; STEENLAND, K.; HALPERIN, W. E.; BEAUMONT, J. J. y WAXWEILER, R. J.: «Lung cancer mortality among nonsmoking uranium miners exposed to radon daughters», *JAMA*, 1989; 262: 629-33.
- SAMET, J. M.; PATHAK, D. R.; MORGAN, M. V.; KEY, C. R.; VALDIVIA, A. A. y LUBIN, J. H.: «Lung cancer mortality and exposure to radon progeny in a cohort of New Mexico underground uranium miners», *Health Phys*, 1991; 61 (6): 745-52.
- SAMET, J. M.: «The epidemiology of lung cancer», *Chest*, 1993; 103 (1 Suppl.): 20s-29s.
- SCHOENBERG, J. B.; KLOTZ, J. B.; WILCOX, H. B.; NICHOLLS, G. P.; GIL DEL REAL, M. T.; STEMHAGEN, A. y MASON, T. J.: «Case-control study of residential radon and lung cancer among New Jersey women», *Cancer Res*, 1990; 50 (20): 6520-4.
- SVENSSON, C.; EKLUND, G. y PERSHAGEN, G.: «Indoor exposure to radon from the ground and bronchial cancer in women», *Int Arch Occup Environ Health*, 1987; 58: 123-131.
- SVENSSON, C.; PERSHAGEN, G. y KLOMINEK, J.: «Lung cancer in women and type of dwelling in relation to radon exposure», *Cancer Res*, 1989; 49 (7): 1.861-5.
- TOMASEK, L.; DARBY, S. C.; SWERDLOW, A. J.; PLACEK, V. y KUNZ, E.: «Radon exposure and cancers other than lung cancer among uranium miners in West Bohemia», *Lancet*, 1993; 341 (8850): 919-23.
- WHO: *Air Quality Guidelines for Europe*. WHO Regional Publications, European Series n.º 23. ISBN 92-890-1114-9. Copenhagen, 1987.
- XUAN, X. Z.; LUBIN, J. H.; LI, J. Y.; YANG, L. F.; LUO, A. S.; LAN, Y.; WANG, J. Z. y BLOT, W. J.: «A cohort study in southern China of tin miners exposed to radon and radon decay products», *Health Phys*, 1993; 64 (2): 120-31.