

# EL RADÓN: ¿RIESGO PARA LA SALUD?

## *RADON: RISK TO HEALTH?*

**Juan Miguel Barros Dios**

Área de Medicina Preventiva y Salud Pública, Universidade de Santiago de Compostela  
Laboratorio de Radón de Galicia, Complejo Hospitalario Universitario de Santiago

### RESUMEN

El radón ( $Rn^{222}$ ) es un gas noble radiactivo que procede directamente del radio ( $Ra^{226}$ ) cuando este emite una partícula alfa (dos protones y dos neutrones) o núcleo de helio, y que a su vez se transforma en otro elemento radiactivo ( $Po^{218}$ ) al desprenderse de otra partícula alfa. Desde hace varias décadas se conoce su efecto como factor de riesgo del cáncer primario pulmonar, primero en mineros del uranio y posteriormente en la población general expuesta al radón residencial en hogares construidos sobre suelos de rocas ricas en uranio ( $U^{238}$ ), elemento inicial de la cadena de degradación radiactiva de la que procede el radón. Áreas geológicamente constituidas por granitos o pizarras, como son las de gran parte de Galicia y todo el noroeste y oeste de la península ibérica, han sido catalogadas como de alto riesgo de exhalación de radón al interior de edificios y domicilios. En numerosos países de América y Europa existen desde hace varios lustros, políticas de prevención del cáncer pulmonar en aquellas zonas de riesgo basadas en programas de reducción de radón en los domicilios y edificios públicos. Desde finales de los años 80, la radiación alfa procedente del radón y sus descendientes de vida media corta han sido clasificados como agentes cancerígenos por la Internacional Agency of Research on Cancer (Lyon, 1988) y el National Research Council (BEIR IV, 1988), constituyendo la segunda causa de cáncer pulmonar después del tabaco, y responsable del 10 al 15% de todas las muertes por esa neoplasia. Estudios realizados en Galicia confirman esta evidencia, con riesgos de 2 a 3 en expuestos a concentraciones del gas en domicilios y la responsabilidad directa del 9% de todos los casos de cáncer pulmonar del área estudiada y una interacción radón/tabaco que multiplica por 45 el riesgo.

**PALABRAS CLAVE:** radón; cáncer de pulmón; partículas alfa; mapas.

### INTRODUCCIÓN

El gas radón, y en concreto su isótopo  $Rn^{222}$ , es un gas noble radiactivo, que procede de la desintegración del uranio 238 ( $U^{238}$ ) cuyo período de semidesintegración es superior a los 4.500 millones de años. Se trata de un elemento químico que forma parte de numerosos minerales, entre ellos, las rocas graníticas. La emisión de una partícula alfa (dos protones y dos neutrones) transforma el radio ( $Ra^{226}$ ) en radón 222, único elemento gaseoso de la serie (Figura 1), que a través de los poros y grie-

### ABSTRACT

Radon ( $Rn^{222}$ ) is a radioactive noble gas whose origin is Radium ( $Ra^{226}$ ) when it emits an alpha particle (two protons and two neutrons) or a helium nucleus.  $Rn^{222}$  transforms in another radioactive element ( $Po^{218}$ ) when an alpha particle is emitted. Its carcinogenic effect on the lung was discovered various decades ago, first on uranium miners and later on general population exposed at home to residential radon. The main factor influencing radon concentration in dwellings is the uranium content of the subsoil, since uranium is the first element of the radioactive disintegration chain where radon appears. Geological risk areas of Spain due to their granite and therefore uranium content are Galicia, the Northwest and the West of Spain. Numerous countries of Europe and America have enforced legislation focused to protect population and reduce radon concentration in order to prevent lung cancer appearance. These laws comprise public buildings and private homes. Since the late 80s, alpha radiation generated by radon and its short-life descendents has been classified as carcinogenic agents by the International Agency for Research on Cancer (Lyon, 1988) and the National Research Council (BEIR IV, 1988).

**KEY WORDS:** radon; lung cancer; alpha particles; maps.

tas de los minerales en los que tiene lugar la transformación exhala hacia las capas superficiales del terreno y se libera a la atmósfera. Si en su camino se encuentra cualquier edificio, se cuela salvando todos los obstáculos (cimientos, solera, etc) hasta concentrarse en el ambiente interior de las casas y edificios donde, en 3,8 días, se reduce a la mitad de su volumen por emisión de partículas alfa y se transforma en los siguientes elementos de la cadena, de los que destacan los llamados *descendientes de vida media corta*: polonio 218 ( $Po^{218}$ ), plomo 214 ( $Pb^{214}$ ), bismuto 214 ( $Bi^{214}$ ) y polonio 214.

**Correspondencia:** Juan Miguel Barros Dios · Área de Medicina Preventiva y Salud Pública, Universidade de Santiago de Compostela · Rúa de San Francisco · 15782 Santiago de Compostela · Tel.: 981 95 00 95; Fax: 981 90 54 06 · juanm.barros@usc.es

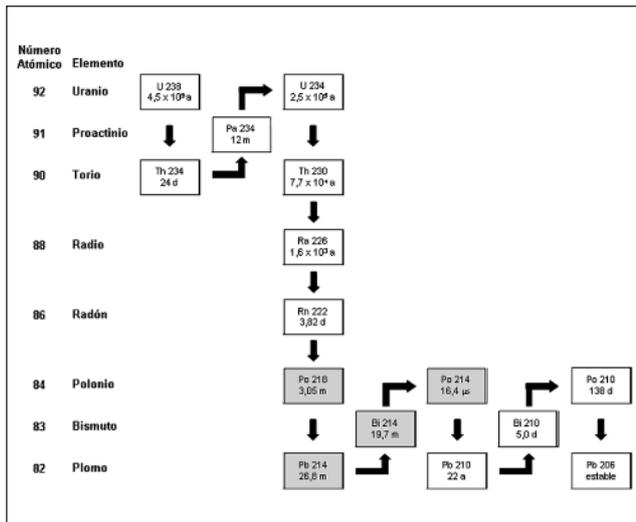


FIGURA 1. Cadena de desintegración radiactiva del Uranio 238. El radón 222 pierde una partícula alfa y se transforma en polonio 218, que junto con el plomo 214, el bismuto 214 y el polonio 214, constituyen los “descendientes de vida media corta”.

El radón 222 supone aproximadamente el 80% de todo el radón existente en la naturaleza, pero existen otros isótopos, de los que destacan el Rn<sup>220</sup> y el Rn<sup>219</sup>, torón y actinón, respectivamente, que proceden del torio 232 y del uranio 235 respectivamente. Sobre todo el torón, supone casi otro 20% del radón total, aunque su vida media es de 55 segundos, frente a los 3,84 días del radón 222. Los restantes isótopos todavía tienen períodos de semidesintegración mucho más cortos.

## RELACIÓN ENTRE EL RADÓN Y EL CÁNCER

Desde la década de los ochenta del siglo pasado, se han sucedido numerosos estudios epidemiológicos de casos y controles sobre todo, para relacionar la exposición domiciliar al gas con el aumento de riesgo de padecer cáncer primario de pulmón. Dicha hipótesis se basaba en la previa evidencia de los excesos de mortalidad por dicha neoplasia observados en cohortes de mineros del uranio que Lubin et al. resumieron años después<sup>1</sup>. Esta línea de investigación sobre el radón residencial se intensificó con la declaración como agentes cancerígenos del gas y sus descendientes en 1988. A partir de un modelo extrapolado de los estudios en mineros, el BEIR IV (*Biological Effects of Ionization Radiation*) del National Research Council<sup>2</sup> En el se estima que más de 20.000 cánceres pulmonares (del 12 al 15% anual) en los EE. UU., son consecuencia de la exposición crónica residencial al radón. Se trata de la segunda causa de esta neoplasia, después del tabaco.

Si bien es cierto que algunos de aquellos primeros estudios, con los conocimientos epidemiológicos actuales, adolecían de defectos metodológicos, tales como diferencias en la medida de la exposición, control defec-

toso de variables confusoras como el tabaco o la ocupación de riesgo, fue posible encontrar una cierta relación, aunque con riesgos débiles y a concentraciones diferentes según el país de estudio.

Pero las evidencias más consistentes llegan entrado ya este siglo: Un metaanálisis de Pavia *et al.*<sup>3</sup> calcula un riesgo conjunto para las 17 mejores investigaciones de casos y controles publicadas hasta la fecha, de 1,24 ( $IC_{95\%}$ : 1,11 -1,38) para expuestos a más de 150 Bq/m<sup>3</sup>, variando los valores de las *odds ratios* desde 1,07 ( $IC_{95\%}$  1,04 -1,11) para expuestos a más de 50 Bq/m<sup>3</sup> hasta 1,43 ( $IC_{95\%}$  1,19 -1,72) para expuestos a más de 250 Bq/m<sup>3</sup>.

Con método diferente, en 2005 se publicó el *pooling-study* o estudio colaborativo, de 13 estudios europeos (Darby *et al.*<sup>4</sup>) que unifica en una misma base de datos la información de 7.148 casos de cáncer pulmonar y de 14.208 controles para evaluar el riesgo de la exposición a radón residencial: el resultado indica, con un tamaño muestral importante, que el riesgo de aparición del tumor aumenta un 16% (5-31%) por cada 100 Bq/m<sup>3</sup>.

Varios meses después se publicaba el estudio conjunto de siete investigaciones americanas, canadienses y de Estados Unidos<sup>5</sup>, que llegan a similares resultados: Con 3.662 casos de cáncer pulmonar y 4.966 controles se observa una OR de 1,11 ( $IC_{95\%}$  1,00 -1,28) para exposiciones de 5 a 30 años, compatible con el riesgo extrapolado de los mineros que era de 1,12 (1,02-1,25).

Ambas publicaciones han terminado de asentar la evidencia científica de la relación del cáncer de pulmón y el gas radón, a través de estudios epidemiológicos observacionales, corroborando las múltiples experiencias de laboratorio que demostraban la capacidad mutagénica y cancerígena de las partículas radiactivas alfa emitidas por el radón y sus descendientes de vida media corta. Así, tanto sobre células de tejido broncopulmonar humano como de animales<sup>6-15</sup>, numerosas investigaciones han probado experimentalmente esa capacidad neoplásica de la radiación alfa, la radiación menos penetrante tal como la figura 2 expresa: no atraviesa una hoja de papel, mientras que la radiación beta puede dañar una mano y la gamma necesita ser evitada con materiales como el plomo o el hormigón. Como partícula más pesada, al ser un núcleo de helio, formado por dos protones y dos neutrones, durante un tiempo pareció discutirse su capacidad para dañar el núcleo celular, hasta que los estudios de laboratorio lo demostraron. Las dos investigaciones basadas en el análisis conjunto de datos en Europa y en América han sido determinantes para que la OMS iniciase en 2005 su International Radon Project<sup>16</sup>, creando un comité de expertos en radón que a lo largo de tres años ha venido trabajando para elaborar un *handbook* o informe técnico publicado en 2009, y que recoge las recomendaciones sobre el radón a los Gobiernos miembros de países

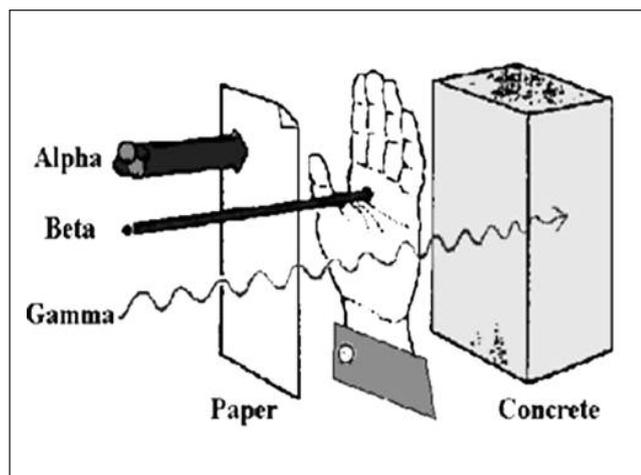


FIGURA 2. Diferente grado de penetración de las tres partículas radiactivas.

afectados, para que implanten y ejecuten políticas de prevención del cáncer de pulmón y de reducción de su segunda causa conocida después del tabaco<sup>17</sup>.

En Galicia, nuestro grupo del Departamento de Salud Pública, de la Universidad de Santiago de Compostela, pudo estudiar el papel del radón residencial en la aparición del cáncer primario de pulmón en el área sanitaria de Santiago de Compostela, durante los años noventa. Con detectores *alfa-track* o de trazas, colocados durante cinco meses en domicilios de 163 pacientes con neoplasia pulmonar y 241 controles poblacionales aleatoriamente seleccionados del censo de 1991, se calcularon riesgos de los más altos publicados hasta el momento y a niveles de exposición más bajos: para exposiciones superiores a 37 Bq/m<sup>3</sup> el riesgo fue de 2,73 [1,21-6,18]; para más de 55 Bq/m<sup>3</sup> la OR hallada fue de 2,48 [1,12 - 5,48], y por encima de concentraciones de 148 Bq/m<sup>3</sup> el riesgo se situó en 2,96 [1,29 - 6,79]<sup>18</sup>. Se trata del estudio con mayor número de variables de confusión controladas: sexo, edad, hábito tabáquico y ocupación de riesgo. La fracción etiológica de riesgo, es decir, la proporción de casos atribuidas en exclusiva al radón fue del 9% de todos los tumores de pulmón del área estudiada y la interacción con el tabaco multiplica el riesgo por 45 para expuestos al radón con más de 37 Bq/m<sup>3</sup> (20 años en media) y al tabaco (20 años a más de 20 cigarrillos día).

Esta evidencia confirmada en Galicia, junto con un suelo en gran parte de estirpe geológica de tipo granítico –roca rica en uranio y, por lo tanto, en radón– nos llevó a abrir una nueva línea de investigación, con el objetivo de elaborar un mapa de radón, esto es, una herramienta existente desde hace varias décadas en numerosos países que tienen el problema del radón. Su fin último es catalogar municipios y comarcas según su nivel de riesgo de exhalación de radón al interior de las casas. Es decir, una zona de riesgo es considerada internacionalmente como aquella que tiene

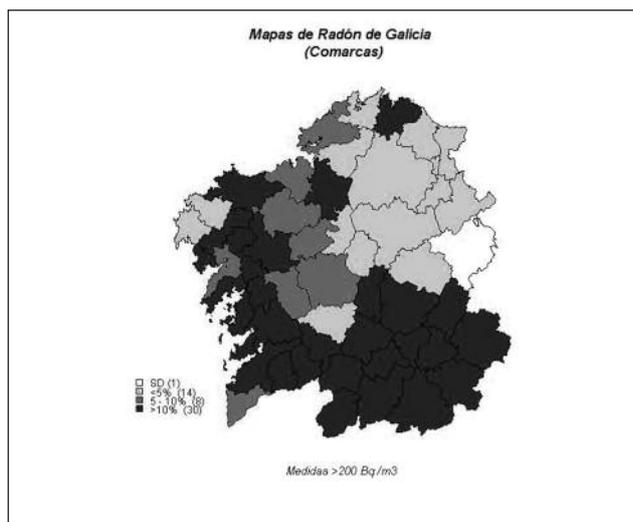


FIGURA 3. Distribución provisional de las comarcas de Galicia en función del porcentaje de casas con alto nivel de riesgo (superior a 200 Bq/m<sup>3</sup>). Fuente: Elaboración propia. (Mapa provisional de contaminación por radón de los domicilios de Galicia).

un 10% o más de casas con concentración de radón superior a los 200 Bq/m<sup>3</sup> en Europa, o de 148 Bq/m<sup>3</sup> en EE. UU. El Consejo de Seguridad Nuclear ha propuesto una clasificación para identificar las zonas geográficas de bajo riesgo (zona 0), riesgo medio (zona 1) y alto riesgo (zona 2), según las áreas no superen los 150 Bq/m<sup>3</sup>, presenten entre 150 y 200, o superen los 200 Bq/m<sup>3</sup>.

En cualquier caso, hasta el día de hoy, y utilizando el método más habitual que distribuye las zonas en bajo riesgo (con menos del 5% de casas con más de 200 Bq/m<sup>3</sup>), de riesgo medio (entre el 5% y el 10%), y de alto riesgo (con más del 10%), los resultados obtenidos (Figura 3) nos han permitido identificar 25 comarcas de alto riesgo, si exceptuamos la de Lemos y la de Quiroga en Lugo, con pocas medidas. Se trata de las comarcas de Barbanza (12,1%), A Barcala (28,2%), Bergantiños (24,6%), Betanzos (10,3%), Muros (36%), Santiago (21,7%), O Sar (38%) y Xallas (23,5%), todas ellas en la provincia de A Coruña. Una en la de Lugo, A Mariña Occidental (con un 20%). En Ourense: Allariz-Maceda (35,3%), Baixa Limia (28,6%), A Limia (15%), Ourense (19,4%), O Ribeiro (19,2%), Terra de Caldelas (66,7%), Terra de Celanova (15,4%), Valdeorras (30,4%), Verín (64,7%) y Viana (66,7%). Por último, en Pontevedra: Caldas (14%), O Condado (14%), O Morrazo (36,4%), Pontevedra (20,3%), O Salnés (50%) y Vigo (30,5%).

Otras 7 comarcas se sitúan en riesgo medio (entre el 5 y el 10% de domicilios con más de esos 200 Bq/m<sup>3</sup>): Arzúa (9,3%), A Coruña (8,8%), Noia (7%) y Ordes (5,1%) en la provincia coruñesa. Y otras tres están en la de Pontevedra: Tabeirós-Terra de Montes (7,5%), O Baixo Miño (6,9%) y Deza (5,6%).

Las restantes, hasta 54, se sitúan en zona de bajo riesgo (menos de un 5% de casas con más de los 200 bequerelios) y las otras 18 están pendientes de procesamiento de datos. Bien es cierto, que a medida que se vaya aumentando el número de casas con medida realizada estos resultados se irán modificando, y en un gran número de ellas la tendencia parece indicar un aumento de las concentraciones más altas, sobre todo en Pontevedra y Ourense. En la página web del Laboratorio de Radón de Galicia, de la USC ([www.usc.es/radongal](http://www.usc.es/radongal)), van apareciendo actualizaciones de los datos y de los mapas.

## EL RADÓN Y OTRAS ENFERMEDADES

Aunque algunas investigaciones han estudiado el papel del radón con otros problemas de salud, actualmente no podemos concluir que existan datos que confirmen esa relación. Ni para la leucemia linfocítica crónica ni para los linfomas o el alzhéimer se ha podido concluir la existencia de relación. Si bien algunas publicaciones han mostrado, para algunos cánceres como los citados, niveles de riesgo aumentado pero no significativos estadísticamente, faltando además la base etiopatogénica o mecanismo por el que el radón pueda participar en la mutagénesis a niveles diferentes a la mucosa respiratoria.

## PREVENCIÓN DEL CÁNCER DE PULMÓN Y REDUCCIÓN DE RADÓN EN EDIFICIOS

Desde hace varias décadas numerosos países han implantado políticas de medida y, en su caso, reducción del radón en los domicilios y edificios públicos, como colegios, residencias de ancianos, locales administrativos, etc. El objetivo de las mismas es reducir las concentraciones del gas a niveles inferiores a los llamados *niveles de acción*, esto es: los 148 bequerelios en EE. UU. y los 200 en los países de Europa.

La reducción de radón en edificios es la medida más importante para disminuir, e incluso eliminar, la exposición radiactiva procedente del radón y sus descendientes de vida corta. Existen numerosas técnicas que, bien en las casas ya construidas –lo que implica más dificultad– o en las de nueva construcción, introducen medidas destinadas a evitar o, al menos, reducir la entrada del gas desde el subsuelo, a través de soleras y cimientos hasta las dependencias de las casas. Es asignatura pendiente en España, en donde las primeras casas medidas se remontan a finales de los años ochenta<sup>19</sup>. Aunque el aspecto sanitario está más que probado, como hemos tratado de plasmar en este trabajo, quizás el silencio y desconocimiento que rodea a este riesgo para la salud derive de las implicaciones sociales y económicas: dado que las soluciones escapan al campo de la medicina y son casi exclusivamente me-

didadas referidas a la planificación y a la construcción de edificios, los directamente responsables de poner remedio al problema son sectores de las diversas Administraciones que tienen las competencias sobre la ordenación urbanística y la vivienda, que en España están mayoritariamente trasferidas a las comunidades autónomas. Cualquier norma o recomendación deberá partir inicialmente de este sector, pero no podemos dejar de citar la gran responsabilidad de los directamente responsables del diseño y construcción de los edificios: arquitectos, promotores y constructores deben actualizar sus conocimientos sobre este problema y comprender que los costes de las soluciones constructivas antiradón suponen un ridículo porcentaje de incremento en el precio final de la casa, mientras que el resultado de la oferta es una casa “libre de radón” que sin duda puede ser un atractivo más a la hora de las ventas.

## REFERENCIAS

1. Lubin JH, Boice JD Jr, Edling C, Hornung RW, Howe GR, Kunz E, Kusiak RA, Morrison HI, Radford EP, Samet JM, Tirmarche M, Woodward A, Yao SX, Pierce DA. Lung cancer in radon exposed miners and estimation of risk from indoor exposure. *Journal of the National Cancer Institute* 1995; 87(11):817-27.
2. National Research Council. Health Risks of radon and other internally deposited alpha-emitters. BEIR IV. National Academies Press. Washington D.C.;1988.
3. Pavia M, Bianco A, Pileggi C, Angelillo IF. Meta-analysis of residential exposure to radon gas and lung cancer. *Bulletin of the World Health Organization* 2003; 81(10):732-8.
4. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, Deo H, Falk R, Forastiere F, Hakama M, Heid I, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Mäkeläinen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruano-Ravina A, Ruosteenoja E, Rosario AS, Tirmarche M, Tomásek L, Whitley E, Wichmann HE, Doll R. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*. 2005; 29:330(7485):223. Epub 2004 Dec 21.
5. Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M, Catalan VS, Field RW, Klotz JB, Letourneau EG, Lynch CF, Lyon JI, Sandler DP, Schoenberg JB, Steck DJ, Stolwijk JA, Weinberg C, Wilcox HB. Residential radon and risk of lung cancer: A combined analysis of 7 North American case-control studies, *Epidemiology* 2005;16(2):137-45.
6. Man-made mineral fibres. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum 1988;43:39-171.
7. Radon. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum 1988;43:173-259.
8. Collier CG, Strong JC, Baker ST, et al. Effects of continuous inhalation exposure of rats to radon and its progeny at various levels of dose and dose rate; interim results. *Radiat Res* 1999; 152(suppl 6):S141-4.
9. Monchaux G, Morlier JP, Morin M, et al. Carcinogenic and cocarcinogenic effects of radon and daughters in rats. *Environ Health Perspect* 1994;102:64-73.
10. Moolgavkar SH, Cross FT, Luebeck G, et al. A two-mutation model for radon-induced lung cancer tumors in rats. *Radiat Res* 1990;121:28-37.

11. Nagasawa H, Little JB. Induction of sister chromatid exchanges by extremely low doses of alpha-particles. *Cancer Res* 1992;52:6394-406.
12. Hickman AW, Jaramillo RJ, Lechner JF, et al. Alpha-particle-induced p53 protein expression in rat lung epithelial cell strain. *Cancer Res* 1994;54:5797-800.
13. Hei TK, Piao CQ, Willey JC, et al. Malignant transformation of human bronchial epithelial cells by radon-simulated alpha-particles. *Carcinogenesis* 1994;15:431-7.
14. McDonald JW, Taylor JA, Watson MA, et al. p53 and K-ras in radon-associated lung adenocarcinoma. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 1995;4:791-3.
15. Yngverson A, Williams C, Hjerpe A, et al. p53 mutations in lung cancer associated with residential radon exposure. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 1999;8:433-8.
16. WHO, World Health Organization; 2004, International Radon Project. [http://www.who.int/ionizing\\_radiation/env/radon/en/index.html](http://www.who.int/ionizing_radiation/env/radon/en/index.html)
17. <http://apps.who.int/bookorders/anglais/detart1.jsp?sesslan=1&codlan=1&codcol=15&codcch=763>
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. Quindós LS, Fernández P, Soto J. National survey on indoor radon in Spain. *Environ Int* 1991;17:449-53.