

# El gas radón y la hormesis

**Gustavo Garzón Valencia**

Instituto Colombiano de Geología  
y Minería INGEOMINAS

## *Resumen*

Nos hemos acostumbrado a pensar que los problemas de contaminación son generados exclusivamente por las industrias y que los niveles de contaminación atmosférica siempre deben ser medidos en el aire externo y no en el aire interno de nuestras viviendas o lugares de trabajo. En los últimos años se ha hecho evidente que el aire interno de algunas viviendas y lugares de trabajo puede generar altas dosis de radiactividad a causa de las altas concentraciones del gas radón, el cual sale desde el interior de la Tierra. Una construcción con poca ventilación puede servir de lugar de acumulación del gas radón y por lo tanto puede aumentar las dosis efectivas de radiactividad sobre el organismo de sus residentes. En la Comunidad Europea y en los Estados Unidos de América, los organismos ambientales y de salud han emprendido campañas para la evaluación de esta amenaza natural causada por el gas radón, con el fin de orientar a la comunidad y plantear mecanismos que permitan la disminución de la exposición a este nocivo gas, el cual termina afectando algunos órganos vitales hasta tal punto que puede causar la muerte por cáncer de pulmón.

***Palabras clave:*** gas radón, hormesis, amenazas naturales, cáncer de pulmón

## *Abstract*

We have ourselves customary to think that contamination issues are generated exclusively by industries and that levels of air contamination always must be measured in the external air and not in the indoor of our

houses or work places. In last years have been made evident that indoor of some houses and work places can generate important doses of radioactivity due to high radon concentrations coming from the Earth's interior. A building with low ventilation can serve as place of radon accumulation and therefore it can increase effective doses of radioactivity on the organism of its residents. In the European Community and in the United States of America, environmental and health institutions have launched campaigns for evaluation of natural threat caused by radon gas, with the purpose of community education and raising mechanisms that allow a decrease of people exposure to this injurious gas, which ends up affecting some vital organs to such an extent that can cause death by pulmonary cancer.

**Key Words:** radon gas, hormesis, natural hazards, pulmonary cancer

## *1. El gas radón*

El radón es un gas radiactivo que sale del interior de la Tierra, producido por la desintegración de los elementos sólidos uranio, torio y radio presentes en las rocas y en los suelos (<http://garzon.narod.ru/espanolradon.html>). Este gas es incoloro, sin sabor, ni olor y por lo tanto puede ser medido solamente utilizando equipos especializados.

Cuando el gas radón sale a la atmósfera es diluido fácilmente por el aire; pero cuando entra en espacios cerrados como las viviendas u otras construcciones, el puede acumularse hasta inaceptables altas concentraciones.

El radón se desintegra formando minúsculas partículas radiactivas, algunas de las cuales permanecen suspendidas en el aire. Cuando son inhaladas e ingresan en nuestro organismo, estas partículas producen bombardeos radiactivos que afectan las células de los pulmones, produciendo afecciones respiratorias, llegando incluso a conllevar al temible cáncer de pulmón (Deetjen 1997:37).

En su paso desde el interior de la Tierra hacia la superficie, el gas radón se disuelve en los depósitos de aguas subterráneas. La ingestión de radón disuelto en aguas, puede llevar a la adición de dosis de radiación sobre las

células del estómago (Yamaoka 2004:86). Existe un buen número de publicaciones (Conrady 2002:204; Leichsenring 2002:211) en las cuales se plantea el surgimiento de afecciones estomacales e incluso la existencia de cáncer de estómago en poblaciones que consumen por muchos años, altas concentraciones de radón disuelto en agua.

La concentración del radón se mide en «picoCurios por litro de aire» ó pCi/L. Un pCi/L corresponde a la desintegración aproximada de dos átomos por minuto en un litro de aire.

En varios países los organismos estatales de control ambiental y de salud han establecido niveles de referencia para la exposición al gas radón en las viviendas y en los sitios de trabajo, por encima de los cuales se recomienda tomar medidas de prevención. Por ejemplo, en los Estados Unidos de América, la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environmental Protection Agency – EPA. <http://www.epa.gov/iaq/radon/>) ha establecido como nivel de referencia 4 pCi/L en sitios habitados; y la más reciente referencia en los países de la Comunidad Europea (EURATOM).

<http://europa.eu.int/comm/energy/nuclear/radioprotection/>) ha recomendado 7,4 pCi/L como nivel de acción para realizar trabajos que disminuyan esta potencial amenaza radiactiva natural, la cual puede estar presente en nuestras viviendas, colegios, universidades, hospitales y/o lugares de trabajo.

## ***2. Un planeta radiactivo***

La radiactividad ha existido desde la misma existencia del Universo y durante la formación del Sistema Solar y de nuestro planeta Tierra. El ser humano siempre ha convivido con la radiactividad. La humanidad se enteró de la existencia del fenómeno de la radiactividad tan sólo hace unos cien años, una vez fueron desarrollados los importantes trabajos científicos de los esposos Curie y de Rutherford.

La forma como se manejó la información durante la guerra fría (1945 – 1990) fue la causa que llevó a la comunidad internacional a pensar en las catástrofes y posible desaparición del género humano en nuestro planeta «si alguna planta nuclear desarrollada por el enemigo, se saliera de control». Es así como en el bloque socialista se publicaron ampliamente «las terribles con-

secuencias para la salud» del accidente ocurrido en 1979 en la planta nuclear Three Mile Island de Pensilvania en los Estados Unidos de América; y en el occidente, el accidente ocurrido en 1986 en la planta nuclear de Chernovyl en la Unión Soviética. Pero una vez finalizada la guerra fría, salió a la luz pública una nueva información demostrando que del total de las dosis anuales de radiactividad que recibe nuestro organismo, el 88% es de origen natural, pues siempre la humanidad ha estado expuesta a ella por influencia cósmica y terrestre y tan sólo el 12% es de origen artificial, creado por la industrialización durante los últimos cien años (Figura 1).

Los elementos químicos presentes en nuestro planeta producen un 75% de la radiactividad total; mientras que del cosmos recibimos un aporte del 13% (Salazar et al. 2004:89). El gas radón que sale del interior de la Tierra y se acumula en nuestras viviendas o sitios de trabajo, contribuye con un 65% de la radiactividad total; un 8% proviene de los elementos sólidos uranio-235, uranio-238, torio-232 y radio-226 presentes en las rocas y en los suelos; y un 2% se encuentra en nuestro cuerpo humano en forma de potasio-40.

Por su parte, los rayos cósmicos galácticos participan con un 3% de la radiactividad total, ingresando a nuestro planeta los isótopos hidrógeno-3 (tritio), berilio-7 y carbono-14; los protones de alta energía que nos llegan con los vientos solares participan en un 6%; y los cinturones de Van Allen (Figura 2) que rodean nuestro planeta, contribuyen con un 4%.

Del 12% de la radiactividad producida por los desarrollos tecnológicos del último siglo, la medicina produce un 10,8% en forma de rayos X y estroncio-90 en los diagnósticos y terapias; mientras que los aparatos domésticos como las pantallas de los televisores, los detectores de humos, las cerámicas y otros emisores de kriptón-85 y estroncio-90 participan con un 0, % del total de la radiactividad; y tan sólo un 1% es producido por la industria nuclear representada por los reactores experimentales, los submarinos y las plantas nucleares generadoras de electricidad.

### **3. La hormesis**

*La palabra hormesis del griego «hormo» que significa «yo excito», es la estimulación de cualquier sistema biológico con bajas dosis de un agente bioactivo. El concepto básico de la hormesis fue ex-*

*plicado un siglo antes de Cristo por el naturalista Tito Lucrecio cuando afirmó en su obra De Rerum Natura (la naturaleza de las cosas) que «cualquier sustancia puede ser beneficiosa o venenosa, dependiendo de las dosis que se le suministre». También en el siglo XVI el naturalista Paracelso, padre de las dosis infinitesimales, se basaba en el principio que «la dosis hace al veneno» o que «la dosis exacta diferencia a un veneno de un remedio» (Soloviev 1983:262). En la vida diaria hemos aprendido a conocer que algunos elementos químicos (los oligoelementos) son necesarios en pequeñas dosis en nuestro organismo; el exceso de estas dosis puede resultar nocivo. En la actualidad, la hormología es el estudio de la excitación. Toda la teoría que se ha desarrollado al respecto, está basada en el principio que «bajas dosis de determinados agentes bioactivos provocan un efecto biopositivo y elevadas dosis de los mismos agentes provocan un efecto bionegativo» (Andreev y Selenezkaya 1989:70; Gusarov 1955:67).*

### **3.1 Efectos biopositivos del gas radón**

Desde tiempos muy antiguos, diversas culturas han utilizado baños terapéuticos en fuentes termales. Algunas aguas termales tienen concentraciones relativamente altas de gas radón. Las «maravillosas aguas» de la ciudad inglesa de Bath tienen contenidos de gas radón de 1730 pCi/L y se las ha considerado durante muchos siglos, beneficiosas para el tratamiento de enfermedades reumáticas (Allen 1903:343; Franke 2000:900). En el año 42 después de Cristo, los antiguos romanos construyeron un templo en las fuentes termales de Bath y lo dedicaron a la diosa de la sabiduría y la salud. En 1742 los ingleses construyeron allí el Royal National Hospital (hospital nacional real).

En la región alemana de Vogtland (frontera con la república Checa) se encuentran las clínicas de tratamientos médicos de Bad Brambach y Bad Elster con fuentes termominerales que contienen altas concentraciones de gas radón; en especial la fuente termomineral Radon-Quelle con 925 pCi/L de gas radón disuelto en sus aguas (Falkenbach 2002:220).

En los países latinoamericanos y desde épocas prehispánicas muchas fuentes termales han servido de lugares para el tratamiento de diversas enferme-

dades de la piel y respiratorias, como el asma. Por ejemplo, en la ciudad de Tequisquiapan, cerca de la ciudad capital de México desde hace siglos se han aprovechado los beneficios de sus aguas termales. En la frontera colombo-ecuatoriana, parte baja del volcán Chiles, se encuentra la fuente termal Las Hediondas con concentración de gas radón en sus aguas de 1431 pCi/L (Garzón 1997:118), la cual es usada por los lugareños para el tratamiento enfermedades respiratorias y de la piel.

En relación con la radiactividad, han sido reportadas (Hiwely 2003:60) varias funciones fisiológicas que muestran hormesis, como: (1) el crecimiento; (2) el desarrollo neuromuscular; (3) el aumento de la agudeza auditiva y visual; (4) el aprendizaje y la memoria; (5) la fecundidad; y, (6) la competencia inmunológica.

### **3.2 Efectos bionegativos del gas radón**

Respecto a los efectos bionegativos del gas radón, se conoce que en la edad media y más exactamente en el siglo XVI los naturalistas Paracelso y Agrícola escribieron sobre la existencia de una alta mortalidad de los trabajadores de las minas de plata de Schneeberg en la región de Sajonia (hoy, república Alemana). En los siglos XVII y XVIII, aumentaron los efectos del entonces conocido «mal de la montaña de Erz o mal de Erzgebirge» paralelo al incremento de la actividad minera en esta región. En el año 1879 basados en autopsias realizadas a pacientes de Schneeberg, los investigadores Harting y Hesse utilizaron por primera vez el término «cáncer pulmonar» para identificar al «mal de Erzgebirge» (Andreev y Selenezkaya 1989:69).

En el año de 1898, la científica María Curie descubrió los elementos polonio y radio, a la vez que explicó el fenómeno de la radiactividad. Dos años después, el físico Dorn descubrió que de una sal del elemento radio se producía un gas radiactivo, llamándolo en aquel momento «emanación del radio» y al cual conocemos actualmente como el elemento radón.

En 1901 se realizaron las primeras mediciones instrumentales en las minas de Schneeberg, revelando altas concentraciones de gas radón. Como resultado se planteó por primera vez la posible relación entre la acumulación del gas radón dentro de los socavones y los problemas respiratorios que padecían los mineros que allí trabajaban. Esta hipótesis fue reforzada mediante

mediciones adicionales que se realizaron en otras minas, en particular, en Joachimsthal en la región de Bohemia (hoy, república Checa) de donde se extraía el mineral que utilizó María Curie en sus investigaciones.

En el año de 1951 se realizaron experimentos con animales (ratas, conejos), demostrando la potencialidad cancerígena del gas radón en los pulmones de las especies estudiadas (Suzuka et al. 1991:1183; Ma et al. 1996:14). Estudios epidemiológicos desarrollados en la década de los 1980's terminaron por confirmar el efecto cancerígeno sobre el organismo humano, causado por las altas concentraciones del gas radón en los socavones de las minas. Así entonces, hace 20 años ya era clara la relación existente entre las altas concentraciones del gas radón en los socavones de las minas no solamente ricas en uranio, sino también en minas de plata, oro, hierro, cobre y fosfatos y las afecciones respiratorias e incluso las muertes de los mineros por cáncer pulmonar.

Pero en el año de 1985 se conoció un hecho sorprendente, el cual fue ampliamente difundido a través de los medios de comunicación de los Estados Unidos. Stanley Watras, un ingeniero electricista empleado de la planta nuclear Limerick en Filadelfia y quien residía en Boyertown (Pensilvania, EEUU), como todos los empleados, al salir de la planta debía someterse a la medición de la radiactividad supuestamente adquirida durante las horas laborales. En diciembre de 1984 y como un hecho incomprensible en aquellos tiempos, la alarma indicó altos niveles de radiactividad en el cuerpo del ingeniero Watras al ingresar a trabajar en la planta nuclear. Este hecho llevó a la realización de detalladas investigaciones, las cuales confirmaron la existencia de altos niveles de radiactividad causados por el gas radón acumulado en su propia vivienda. Su esposa y sus hijos presentaban altos niveles de radiactividad en sus cuerpos debido a la existencia de increíbles niveles de radón en el aire interno de su vivienda, equivalentes a las dosis radiactivas que sobre los alvéolos pulmonares recibe un fumador que consuma 3.280 cigarrillos diarios.

Este sorprendente hecho fue el inicio de investigaciones que confirmaron que no solamente se puede adquirir cáncer pulmonar respirando dentro de los socavones de las minas o consumiendo tabaco, sino también respirando altas concentraciones del gas radón durante largos períodos de tiempo (años) dentro de viviendas y lugares de trabajo (Bertell 1991:54).

#### **4. Radiactividad ambiental y dosis efectiva de radiación**

En general, debemos admitir que la radiactividad puede ser una amenaza para la salud pública. Sólo que el grado de la amenaza depende de: (1) las dosis efectivas; (2) el tipo de radiación; (3) la cantidad y el tiempo de exposición. Igual que una gota de agua cuando cae sobre una roca: «una sola gota no afecta la superficie de la roca, pero la caída de gotas de agua por muchos años sobre la misma roca logra abrirle un hueco». Aquí radica la diferencia entre hablar de radiactividad ambiental y dosis efectivas por exposición a radiaciones ionizantes. La primera, está relacionada con describir la cantidad de partículas radiactivas ionizantes por unidad de volumen, comúnmente expresadas en pCi/L (picoCurios por litro de aire) ó Bq/m<sup>3</sup> (Bequerelios por metro cúbico). La segunda, se relaciona con el tiempo de exposición a cantidades determinadas de radiación ionizante y los posibles efectos sobre el organismo de un ser viviente, la cual se expresa en mSv/año (miliSievers por año) ó mrem/año (milirem anual).

A primera vista, los efectos biopositivos y bionegativos pueden ser vistos como una contradicción, pero como ya se comentó cuando se habló de la hormesis, las dosis efectivas sobre el organismo humano son la clave para comprender la ocurrencia de estos dos efectos. Como bien sabemos, las personas que reciben tratamientos terapéuticos no se exponen continuamente y por muchos años a los efectos radiactivos del gas radón. La exposición durante los tratamientos es controlada por especialistas médicos; mientras que la amenaza radiactiva causada por el gas radón está relacionada con la exposición a altas concentraciones de gas radón por muchos años en las viviendas o lugares de trabajo.

Respecto a estas dosis efectivas de radiación no se ha dicho la última palabra y es por esta razón que existen distintas (aunque aproximadas) concentraciones de radón sugeridas por entidades de control ambiental y de salud en diversos países, para la toma de acciones correctivas. En la tabla 1 se muestran algunos ejemplos de los niveles de referencia máximos de gas radón en el interior de las viviendas o lugares de trabajo, recomendados por diversas instituciones en algunos países y disponibles en internet.

## **5. Mapas de radón y ordenamiento territorial**

El conocimiento de las concentraciones de gas radón en los suelos de una región, permite comprender el potencial de generación de este gas radiactivo en el agua que consume una población y el aire que se respira. Absorber diariamente 4 picoCurios por litro de aire dentro de nuestras viviendas o sitios de trabajo equivale a fumar 5 cigarrillos diarios; o dicho de otra manera, generan el mismo efecto degenerativo en los alvéolos pulmonares para producir afecciones respiratorias e incluso el cáncer pulmonar al cabo de 25 – 50 años y consecuentemente la muerte (EPA).

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América (Environmental Protection Agency – EPA <http://www.epa.gov/RadonPubs/elradon.html>) estima que las prolongadas exposiciones al gas radón dentro de nuestras viviendas o lugares de trabajo, han venido causando entre 5.000 y 20.000 muertes anuales por cáncer pulmonar en los Estados Unidos de América. Ante este estimativo, en el año de 1998 el gobierno del presidente Bill Clinton comprometió a diversos institutos ambientales y de salud de los Estados Unidos a evaluar las amenazas potenciales de este nocivo gas.

Con este fin, varias instituciones estadounidenses están llevando a cabo estudios de evaluación de los niveles de gas radón en todos los estados de su territorio, representados en mapas de radón a diversas escalas (<http://www.epa.gov/iaq/radon/zonemap.html>).

Tanto en los Estados Unidos de América, como en la Unión Europea los mapas de radón como los mostrados en las Figuras 3 y 4, son utilizados por los planificadores y administradores locales para la prevención de esta amenaza radiactiva y la educación de la comunidad. Varios países ya incluyeron como una prioridad dentro de sus planes de ordenamiento territorial, la evaluación de la amenaza radiactiva causada por el gas radón. Los mapas de radón son ahora una importante herramienta para la definición de zonas de expansión municipal y urbanismo.

Actualmente en los Estados Unidos de América, una vivienda con un tenor de gas radón en el aire interno superior a 4 pCi/L es prácticamente invendible. Muchas agencias inmobiliarias en la Unión Europea y en los Estados Unidos, antes de encargarse de vender una vivienda, se aseguran de obtener

un certificado de la salubridad del inmueble, especialmente relacionado con los niveles de gas radón en el aire interno. En el mismo sentido, antes de construir un edificio se tienen en consideración los niveles de gas radón en el suelo y en los materiales de construcción a utilizar. Los aspectos arquitectónicos en las nuevas construcciones para viviendas o lugares de trabajo han tenido profundas transformaciones en la última década, especialmente relacionados con los diseños que faciliten su máxima ventilación.

## ***6. Radón en las viviendas***

La experiencia de las últimas dos décadas en la Unión Europea y en los Estados Unidos ha enseñado que los niveles de radón pueden variar significativamente entre viviendas vecinas, y por lo tanto, los niveles de radón en una vivienda no pueden ser inferidos a partir de mediciones en viviendas aledañas. Por esta razón, las entidades encargadas de la orientación en el tema de la amenaza radiactiva causada por el gas radón recomiendan a todos los propietarios, contratar los servicios de empresas especializadas para que realicen las respectivas mediciones. Cuando se obtienen altos niveles de gas radón en el interior de las viviendas, los propietarios son orientados para que realicen obras civiles en sus propiedades que conlleven a la reducción de los niveles de gas radón.

Si una vivienda está construída en una zona donde los niveles de radón del suelo son altos, los lugares de la vivienda más expuestos y por lo tanto donde se puede acumular el radón en mayor cantidad son los sótanos y el primer piso. Las viviendas construídas sobre trazos de fallas geológicas activas o en la intersección de éstas, están más expuestas a la acumulación de gas radón en su interior. El gas radón puede ingresar al interior de una vivienda a través de diversos caminos (Salazar 2002:48): (1) el suelo; (2) los ductos de agua; (3) el gas domiciliario; y, (4) los materiales de construcción, tal como se muestra en la Figura 5.

Los niveles de radón en una vivienda pueden ser medidos colocando pequeños sensores con cámaras selectivas, por períodos entre 15 días y varios meses. Al finalizar este período, los sensores son llevados a laboratorios especializados para su procesamiento y posterior cálculo de las concentracio-

nes del radón presente en el aire interno de la vivienda.

Si no ha medido los niveles del gas radón en el interior de su vivienda, recuerde que el mejor diluyente es el aire y por lo tanto ventilándola con frecuencia, disminuirá la concentración de gas radón en su interior.

## ***Conclusiones***

Durante varias décadas y producto de la guerra fría, la atención del público estuvo enfocada a pensar en la amenaza radiactiva de origen humano. Sin embargo, en la actualidad se está informando al público sobre la amenaza radiactiva causada por el gas radón, la cual ha existido desde la formación de nuestro planeta.

Con respecto al efecto del gas radón sobre la salud pública, algunos gobiernos se han esforzado por regular la exposición de la población al gas radón, creando Programas Nacionales de Radón donde participan expertos de diversas disciplinas, destacándose las ciencias exactas y naturales, las ciencias sociales, las ciencias médicas, las ingenierías y la arquitectura. Los programas nacionales de radón se han concentrado en las medidas preventivas para evitar la exposición radiactiva tanto en las nuevas construcciones, como en las ya existentes.

## ***Referencias***

- Allen, H.S. 1903. Radio-active gas from Bath mineral waters. *Nature* 68: 343.
- Andreev, S.V. y Selenezkaya, V.S. 1989. Hormesiskonzeption in Rahmen des problems der stimulierenden Wirkung von geringen Dosen chemisch-physikalischer Reize. *Fragen d. Kurortwissenschaft, Physiotherapie u. Heilbäderkultur* 6: 68-75.
- Bertell, R. 1991. No immediate danger, *Prognosis for a radioactive earth*, The Book Publishing Company, Summertown, Tennessee, USA, 15-63.
- Conrady, J. 2002. Die Schätzung des Lungenkrebsrisikos durch Radon bei Nichtrauchern. En: *Biophysikalische Arbeitstagung 7-9 Sept. 2001*. Schlema, 196-208.
- Deetjen, P. 1997. Epidemiology and biological effects of radon. En: H.G. Pratzel y P. Deetjen, *Radon in kurortmedizin* (ISBN 3-9804437-2-8), 33-39.
- Falkenbach, A. 2002. Radon progeny activity on skin and hair after speleotherapeutic radon exposure. *Journal of Environmental Radioactivity* 62: 217-223.
- Franke, A. 2000. Long-term efficacy of radon spa therapy in rheumatoid arthritis – a randomized, sham-controlled study and follow-up. *Reumatology* 39: 894-902.

- Garzón, G. 1997. *Catálogo de fuentes termales del suroccidente de Colombia*. INGEOMINAS, informe interno. San Juan de Pasto, 212pp.
- Gusarov, I.I. 1955. Voprosy kurortologii, fizioterapii, i lechnoi fizicheskoi kulturi. *Kurortologii* (ISSN 0042-8787), 66-69.
- Hiwely, W. 2003. Es beneficiosa para usted la radiación?. En: *Revista Discovery* en español, Ideas Publishing Group, Miami, Florida, USA, 56-62.
- Leichsenring, G. 2002. Analyse prae- und neonatologischer Daten des Zeitraumes 1955-1989 aus dem Landkreis Aue. En: *Biophysikalische Arbeitstagung 7-9 Sept. 2001*. Schlema, 211.
- Ma, J., Yonehara, H., Ikebuchi, M., Aoyama, T. 1996. Effect of radon exposure on superoxide dismutase (SOD) activity in rat. *Journal of Radiation Research* 37: 12-19.
- Salazar, S.P. 2002. *Mapa geoquímico del gas radón para el suroriente del municipio de Manizales*. Tesis. Programa de Geología y Minas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Caldas. 104pp.
- Salazar, S.P., Hincapié, W.A., Garzón, G. 2004. El gas radón: una amenaza radiactiva. *Boletín de Geología*, Revista de la Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 26: (42) 87-93. ISSN 0120-0283.
- Soloviev, Yu.I. 1983. Génesis y desarrollo de la química desde tiempos antiguos hasta el siglo XVII. En: *Historia general de la química*, Instituto de la Ciencia y la Técnica, Academia de Ciencias de la URSS, Editorial Nauka, Moscú, 397pp.
- Suzuka, I., Yamaoka, K., Komoto, Y. 1991. Adrenal secretion of catecholamines by inhalation of radon water in relation to an increase of the tissue perfusion rate in rabbits. *Journal of Japanese Coll Angiology* 31: 1182-1196.
- Yamaoka, K., Mitsunobu, F., Hanamoto, K., Shibuya, K., Mori, S., Tanizaki, Y., Sugita, K. 2004. Biochemical comparison between radon effects and thermal effects on humans in radon hot spring therapy. *Journal of Radiation Research* 45: 83-88.

PAIS / INSTITUCION	pCi/L
EEUU / Environmental Protection Agency - EPA	4.0
Reino Unido / National Radiological Protection Board	7.4
EEUU / National Council for Radon Protection - NCRP	8.0
Alemania	9.2
Suecia y Suiza	10.8
Canadá	21.6
Comunidad Europea (en viviendas antiguas)	14.8
Comunidad Europea (en viviendas nuevas)	7.4

Tabla 1. Niveles máximos de radón recomendados por diversos organismos internacionales.

### Figuras

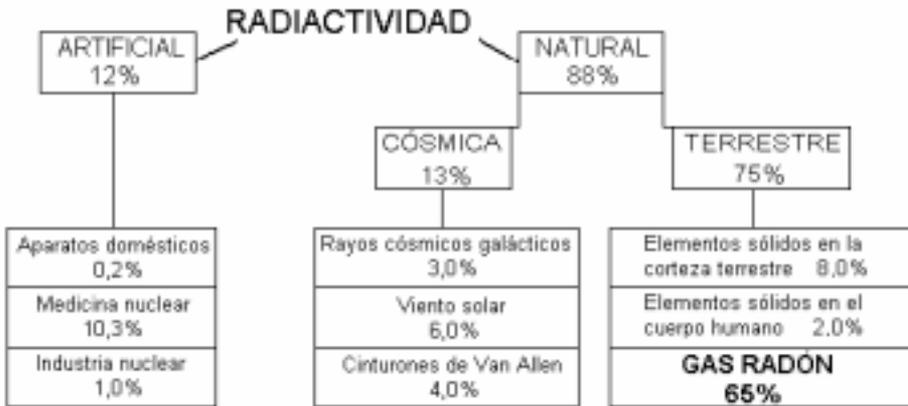


Figura 1. Amenaza radiactiva en nuestro planeta. (Tomado de: Salazar et al. 2004:89)

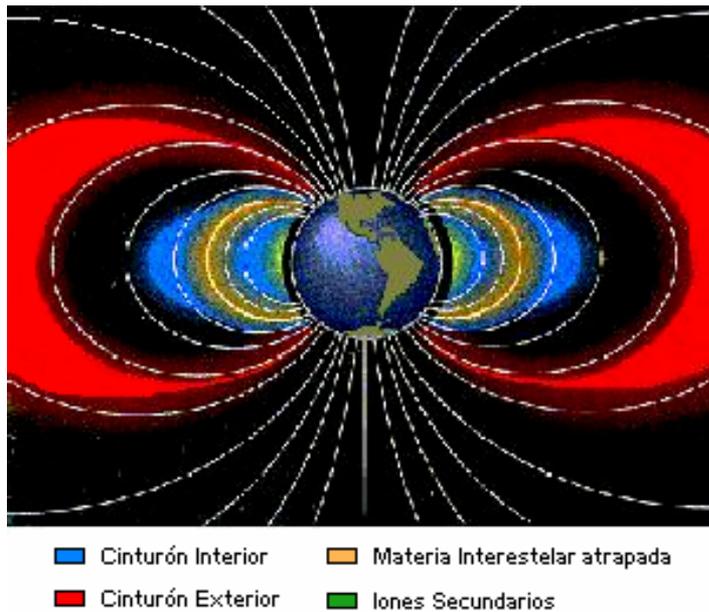


Figura 2. Representación del cinturón de Van Allen

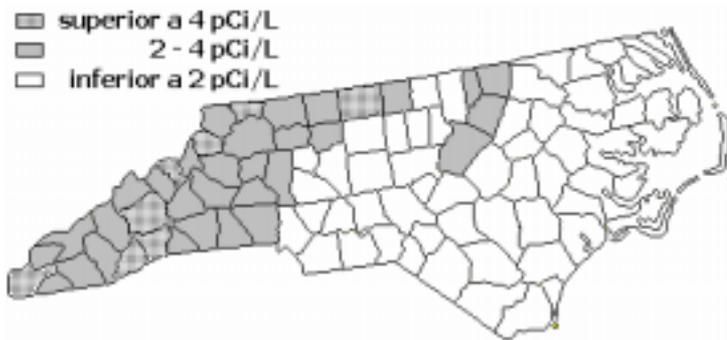


Figura 3. Mapa de radón del estado de Carolina del Norte, EEUU. (Tomado de: <http://www.epa.gov/iaq/radon/zonemap/northcarolina.htm>)

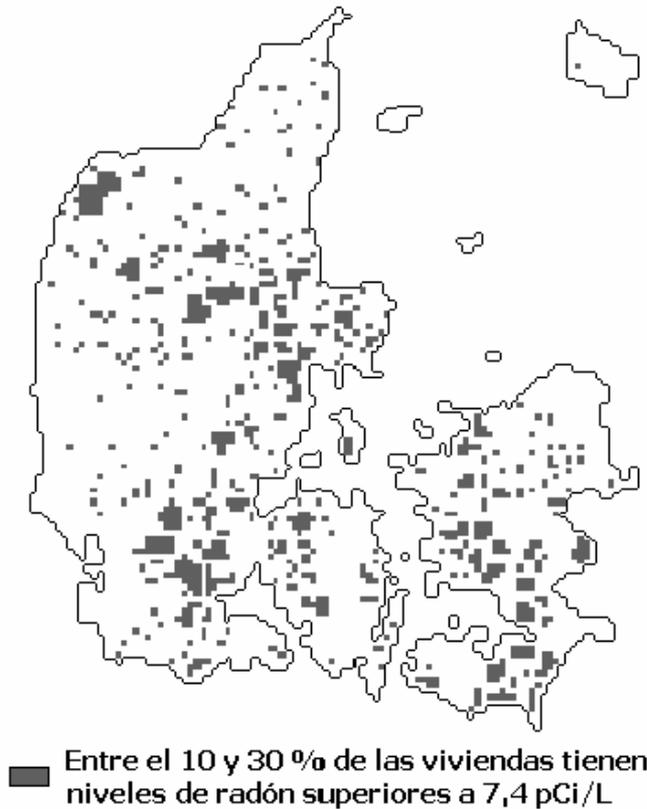


Figura 4. Mapa del radón interno en las viviendas en Dinamarca. (Tomado de: <http://www.risoe.dk/nuk/radon4.htm>)

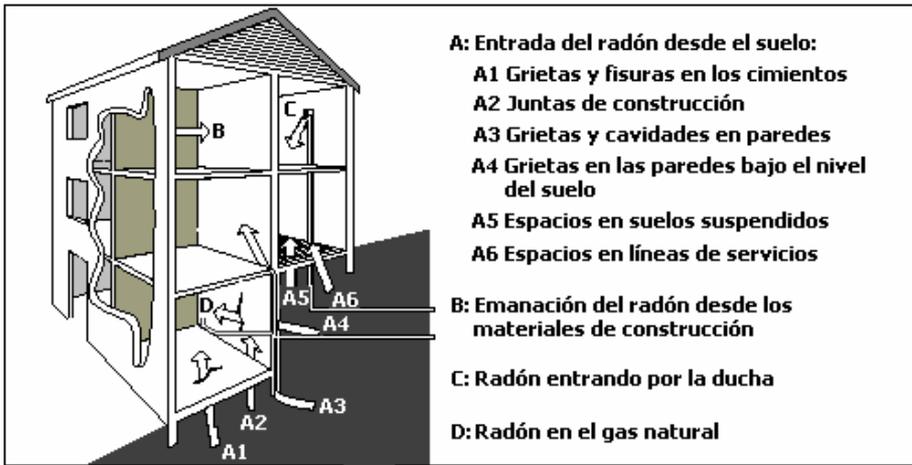


Figura 5. Ingreso del gas radón en una vivienda

Recibido: enero, 2006

Aceptado: junio, 2006