

Notas Geocientíficas

El gas Radón: Una amenaza radiactiva natural

EL GAS RADÓN: UNA AMENAZA RADIATIVA NATURAL

Salazar, S. P.¹, Hincapié, W. A.¹, Garzón, G.²

RESUMEN

Las amenazas naturales que hasta la fecha se tienen en cuenta en Colombia en los planes de ordenamiento territorial, son las hidrológicas, sísmicas, volcánicas y de remoción en masa. Pero un creciente entendimiento del elevado impacto que en la salud pública juega la amenaza radiactiva causada por el gas radón, ha permitido que en diversos países europeos y en los Estados Unidos de América se estén introduciendo normas que permitan disminuir los riesgos radiactivos naturales.

El gas radón es el causante del 65% de la amenaza radiactiva en nuestro planeta. Este gas se introduce en las construcciones en forma imperceptible y es la segunda causa de muertes por cáncer pulmonar, después del consumo de tabaco.

En el presente trabajo se hacen algunos comentarios sobre el estado de estudio del gas radón en Colombia y sobre algunas experiencias en naciones europeas y en los Estados Unidos de América.

Palabras claves: Radón, radiactividad, geoamenazas, cáncer pulmonar.

ABSTRACT

Natural hazards such as hydrological, seismological, volcanological and landslides are included in the Colombian territorial planning. An increasing understanding of the elevated impact in the public health that plays radioactive hazard caused by radon, has allowed in european countries and in the United States of America to introduce important legal issues focussed on the reduction of the associated natural radioactive risk.

Radon is a gas responsible of 65% of all radioactive hazard in our planet. This gas is accumulated in the indoor's air, in silet form and is the second cause of lung cancer deaths, after the tobacco consumption.

In this work some commentaries are made on the study state of radon gas in Colombia, as well as some experiences in european countries and in the United States of America.

Key words: Radon, radioactivity, geohazards, lung cancer.

¹ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Caldas, Manizales,
Correo electrónico: soniapatricia@manizales.com; williamhincapie@hotmail.com

² Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS, Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales,
Correo electrónico: ggarzon@ingeomin.gov.co

1. INTRODUCCIÓN

Las amenazas naturales son condiciones geológicas, hidrológicas o atmosféricas que presentan un peligro para la vida y/o la propiedad. Las amenazas naturales pueden ser diferenciadas en:

1. *Procesos con efecto rápido*, como los terremotos, las erupciones volcánicas, los deslizamientos de tierra e inundaciones, los maremotos o tsunamis, los huracanes; y,
2. *Procesos con efecto lento*, como los radiactivos causados por el gas radón, cambios climáticos causados por el efecto invernadero, cambios en los niveles del mar, erosión de los suelos, las sequías (Salazar et al., 2003).

En la FIGURA 1 se ilustran algunas amenazas naturales. El efecto radiactivo al cual nos exponemos en nuestro planeta tiene una procedencia antrópica en un 12%; y una procedencia natural en un 88%, de la cual el radón es el causante del 65% de estos efectos radiactivos debido a su naturaleza gaseosa (FIGURA 2), la cual le permite fluir fácil y rápidamente hacia el interior de las construcciones y de nuestro organismo.

2. EL RADÓN

El radón es un gas radiactivo, incoloro e inoloro extremadamente volátil, producto de la desintegración natural de los nucleidos que conforman las series de desintegración radiactiva del: (1) uranio-238; (2) torio-232; y, (3) uranio-235. En términos de clasificación química el radón es un gas noble como el helio, neón, argón, kriptón y xenón, por lo cual no reacciona con otros elementos químicos. Este elemento es el gas más pesado de los gases inertes, con una densidad de 9.7 g/L a 0°C y ocho veces más pesado que el aire. La concentración del radón se expresa en unidades de actividad radiológica por unidad de volumen, *picoCurios por Litro* ó $\text{pCi/L} = 10^{-12} \text{ Ci/L}$.

El gas radón se difunde en los suelos y se disuelve con relativa facilidad en las aguas subterráneas. En espacios abiertos y con buena ventilación, el gas radón se diluye rápidamente; mientras que en lugares cerrados puede acumularse hasta alcanzar altas concentraciones.

En estudios vulcanológicos y sismotectónicos realizados por los autores en los departamentos de Nariño, Cauca y Caldas se han medido niveles de gas radón entre 400 - 800 pCi/L en zonas no asociadas a fallas geológicas; 800

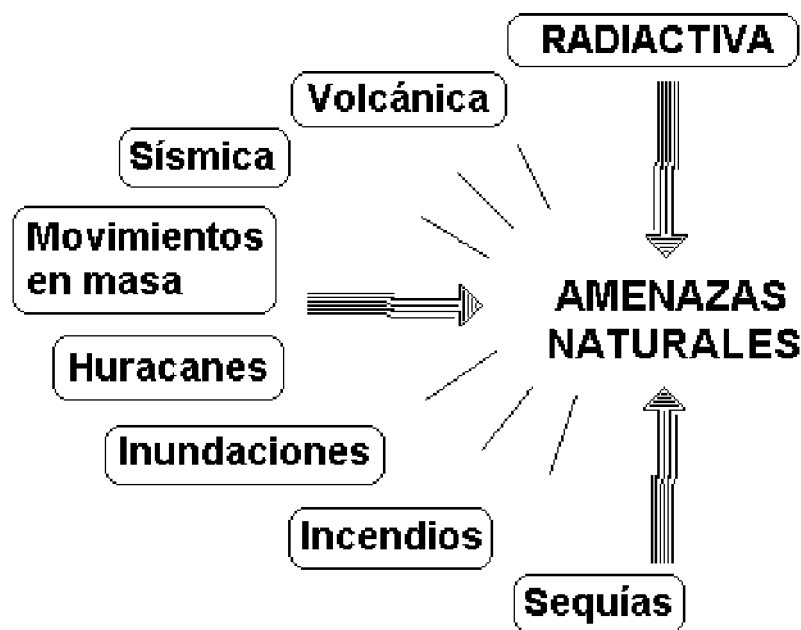


FIGURA 1. Diferentes tipos de amenazas naturales en nuestro planeta.

- 2500 pCi/L sobre fallas activas; y en el cruce de algunas fallas activas entre 3500 - 25000 pCi/L (Morán et al., 2001; González y Garzón, 2001; Salazar, 2002).

Además de la importancia del factor estructural de las fallas activas, los principales ambientes geológicos con potencialidad de producir altos niveles de gas radón, son (Gundersen et al., 1992):

1. Sedimentos uraníferos metamorfoseados, rocas volcánicas e intrusivos graníticos altamente deformados y frecuentemente cizallados. Las zonas de cizalla en estas rocas producen altos niveles de gas radón en el interior de las edificaciones;
2. Los depósitos glaciares derivados de rocas productoras de uranio, así como sedimentos lacustres glaciares. Las tilitas ricas en arcilla y las arcillas lacustres presentan alta emanación de gas radón a causa de su alta área superficial y la alta permeabilidad debido al agrietamiento por desecación;
3. Shales negros marinos. La mayoría de los shales negros son moderadamente uraníferos, pero con altos coeficientes de emanación y alta permeabilidad secundaria;

4. Suelos derivados de carbonatos, especialmente en terrenos kársticos.

Aspectos arquitectónicos que disminuyan la buena ventilación y materiales de construcción con asociaciones de minerales radiactivos, también pueden facilitar la acumulación de altos niveles de gas radón en las viviendas o lugares de trabajo.

2.1. Breve historia del gas radón

El fenómeno de la radiactividad fue descubierto por María Curie en el año de 1898. En el año 1900, el físico Dorn descubrió que de una sal de radio se producía un gas radiactivo, al cual se le llamó inicialmente “emanación de radio” y actualmente se le conoce como el elemento radón.

Con anterioridad, en el siglo XVI Paracelso y Agricola describen una alta mortalidad en las minas de plata de Schneeberg en la región de Sasonia (hoy, República Alemana). Los efectos del entonces llamado “mal de Schneeberg” aumentó en los siglos XVII y XVIII, a raíz del incremento de la actividad minera en la explotación de plata y cobalto. En el año de 1879 Harting y Hesse basados en autopsias a pacientes de Schneeberg, por primera vez empezaron a llamarle a esta enfermedad cáncer pulmonar.

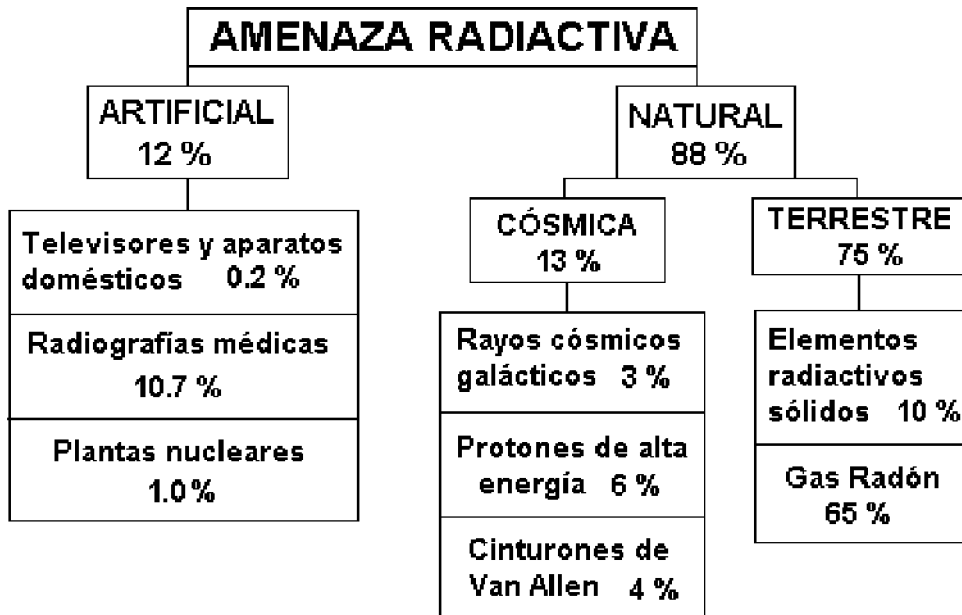


FIGURA 2. Diferentes tipos de amenazas radiactivas en nuestro planeta.

En 1901 se realizaron las primeras mediciones instrumentales en las minas de Schneeberg, revelando una alta concentración del gas radón. Como resultado, fue planteada la hipótesis de causa-efecto relacionada con los altos niveles de radón y el cáncer pulmonar. Esta hipótesis fue reforzada a través de la realización de adicionales mediciones en 1902 en las minas de Schneeberg y en particular en Jachymov (Joachimsthal) de la región de Bohemia (hoy, República Checa) de donde provenía el mineral utilizado en las investigaciones que desarrollaba María Curie.

En el año de 1951 se realizaron experimentos con animales, demostrando la potencialidad cancerígena del gas radón en los pulmones de las especies estudiadas. Estudios epidemiológicos en algunas minas de uranio en los años sesentas, confirmaron esta potencialidad sobre el organismo humano.

En 1967 el Congreso Federal para la Investigación de los Estados Unidos de América propuso en forma de recomendación, el control del riesgo radiactivo en la actividad minera. Para definir apropiados niveles de protección, la Organización Mundial de la Salud estableció en 1988 la necesidad de cuantificar la amenaza radiactiva en términos de intensidad de exposición. Para tal fin, se realizaron numerosos estudios epidemiológicos en varias naciones, no solamente en las minas de uranio sino también en minas de hierro y estaño. Se confirmó además, que no solamente los mineros están expuestos a altos niveles de gas radón. Existen viviendas construidas sobre ambientes geológicos nocivos, asociados con minerales de uranio en el subsuelo o construidas con materiales que contienen trazas de los elementos uranio, torio y/o radio.

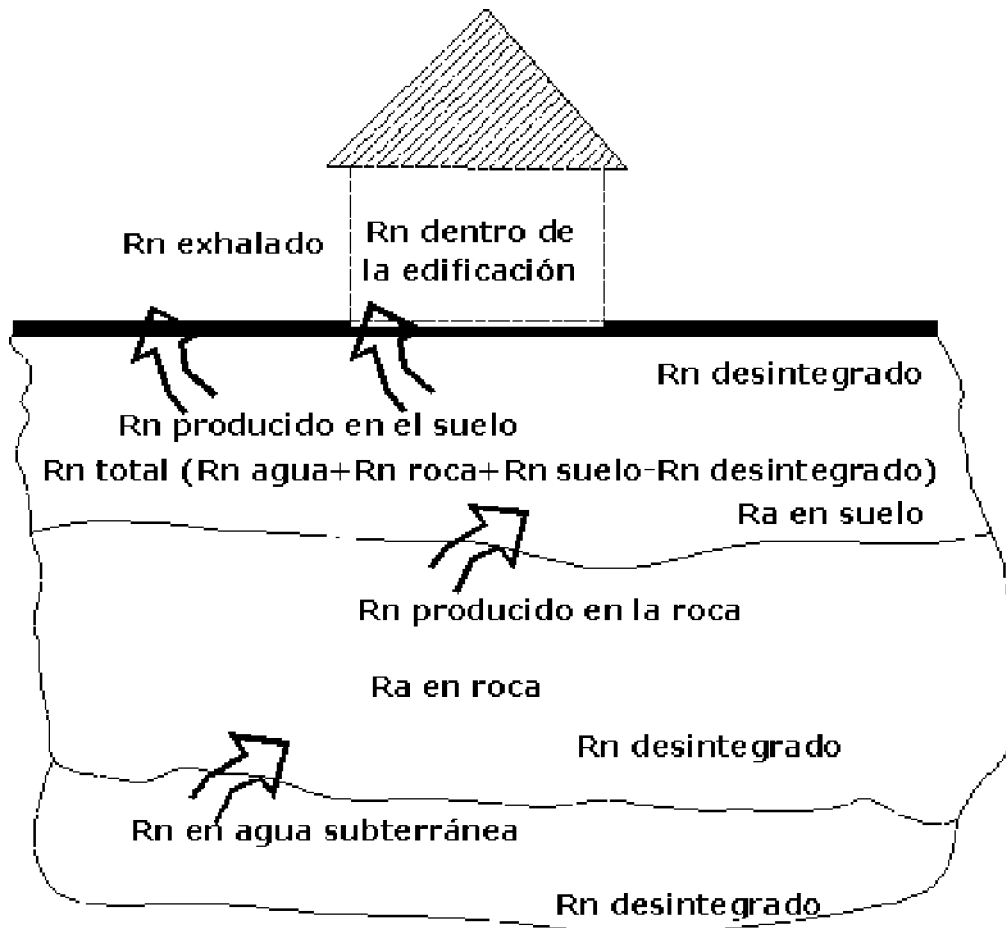


FIGURA 3. Transporte de gas radón hacia el interior de las edificaciones. Rn = elemento Radón; Ra = elemento Radio. Tomado de: Salazar et al., 2003).

En los años ochentas y noventas los servicios geológicos de varios países han realizado numerosos estudios encaminados a evaluar los niveles del gas radón en el aire, el suelo y en las aguas de consumo público, con el fin de establecer los niveles de exposición de las comunidades. Estos trabajos han sido publicados en forma de mapas a diversas escalas para su utilización por parte de los planificadores y administradores locales (EPA, 2002).

2.2. Exposición al gas radón

Respecto a los efectos del gas radón sobre el organismo, se deben diferenciar dos aspectos principales:

1. Desde hace varios siglos se utilizan ciertas mínimas dosis equivalentes efectivas de radiación, basados en las propiedades horméticas de los radionucleidos para el tratamiento de ciertas afecciones del organismo humano (Hiwely, W., 2003);
2. En las últimas décadas se ha demostrado que la prolongada exposición (durante varios años) a altos niveles de gas radón es la segunda causa de muertes por cáncer pulmonar, después del consumo de tabaco. También se ha sugerido la existencia de otras patologías debidas al gas radón, como el cáncer gástrico y la leucemia infantil (Bertell, R., 1991).

Las personas que permanecen mayor tiempo en recintos cerrados, como las viviendas, las oficinas, los hospitales, los colegios y universidades pueden estar más expuestas al gas radón que aquellas que permanecen en espacios abiertos. Esto significa que la exposición puede ser mayor para los habitantes de las grandes ciudades, que para aquellas personas que viven en el campo. De la misma manera, se puede afirmar que están más expuestas aquellas personas que permanecen en construcciones de ladrillo y concreto, que aquellas que permanecen en construcciones de adobe y/o madera.

En diversos países han sido realizados detallados estudios sobre la influencia que tienen los ambientes geológicos, trazos de fallas y tipos de construcciones, en el grado de exposición al gas radón. Se utiliza el término “edificio enfermo” para designar aquellas construcciones localizadas sobre trazos de fallas activas y sobre litologías con relativos altos contenidos de uranio, torio y/o radio.

También se ha establecido que además de estos factores, la permeabilidad del suelo, las grietas en los cimientos, las aguas subterráneas y los ductos de gas natural, son facilitadores del flujo del gas radón hacia el interior de las construcciones (FIGURA 3).

Se utiliza el termino “asesino silencioso” para designar al gas radón. El riesgo de la exposición al gas radón se fundamenta principalmente en el efecto que pueden inducir el bombardeo de las partículas alfa y los descendientes de la desintegración radiactiva del gas radón en las células de los alvéolos pulmonares, produciendo diversos tipos de carcinomas y adenomas (Bertell, R., 1991).

La Agencia estadounidense de Protección del Medio Ambiente - EPA estima que las prolongadas exposiciones al gas radón ha venido causando entre 15000 y 25000 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 diversas universidades e institutos de investigaciones científicas de los Estados Unidos a evaluar las potenciales amenazas de este nocivo gas.

Con este fin, institutos científicos como el servicio geológico de los Estados Unidos - USGS vienen desarrollando estudios de evaluación de los niveles del gas radón en todos los estados del territorio estadounidense, representados en mapas de radón a diversas escalas (EPA, 2002; Flood et al., 1990). De la misma manera, los servicios geológicos de muchos países del mundo están adelantando similares investigaciones y evaluaciones de los niveles del gas radón en distintos ambientes (Doi et al., 1994; Keller, 1992; Segovia et al., 1991).

3. Investigaciones desarrolladas

La amenaza radiactiva relacionada con la acumulación del gas radón en las viviendas y en los lugares de trabajo, ha incrementado las labores de investigación por parte de los expertos y de los responsables de la salud pública. Para evaluar la dimensión del problema, en la última década se han efectuado mediciones de los niveles del gas radón en casi todos los países europeos y en los Estados Unidos de América. Se ha establecido que un bajo valor medio nacional, no excluye la existencia de áreas con altas concentraciones de gas radón.

La Comunidad Europea mediante la recomendación del 21 de febrero de 1990 ha establecido criterios para la protección de la población contra la exposición al gas radón dentro de las edificaciones. La Comisión Europea ha patrocinado la realización de esta clase de campañas de monitoreo del gas radón a nivel nacional, regional y local. La directiva 106/89 de la Comunidad Europea dispuso una norma marco para la reglamentación de la producción, comercialización y uso de los materiales de construcción.

Actualmente, en los Estados Unidos de América, una vivienda con un tenor de gas radón en el aire interno superior a 4.0 pCi/L es prácticamente invendible. Muchas agencias inmobiliarias en Europa y Estados Unidos antes de encargarse de vender un inmueble, se aseguran de obtener un certificado de la salubridad del inmueble, especialmente relacionado con los niveles del gas radón en el aire interno. En el mismo sentido, antes de construirse un edificio se tienen en consideración los niveles del gas radón en el suelo y en los materiales de construcción a utilizar. Para este fin, se basan en los mapas de radón que elaboran los respectivos servicios geológicos de cada país.

En Colombia, los autores realizaron en 1995 las primeras mediciones del gas radón en suelos y aguas, en desarrollo de estudios enfocados al conocimiento del fenómeno sísmico y volcánico en el marco del proyecto “Estudio geoquímico de los volcanes del suroccidente colombiano” de la subdirección de química del INGEOMINAS (Garzón, 1996). Desde 1997 los autores han realizado mediciones del gas radón en el aire interno de algunas edificaciones; pero, la primera medición sistemática con objetivos de estudio de la geoamenaza radiactiva, se desarrolló en un reciente estudio de tesis de pregrado apoyado por el INGEOMINAS y presuestalmente patrocinado por algunos particulares de los Estados Unidos de América, donde se elaboró un mapa del gas radón en el suroriente del municipio de Manizales, escala 1:25000 (Salazar, 2002).

En la evaluación de la geoamenaza radiactiva en el suroriente de la ciudad de Manizales se tuvieron en consideración los siguientes factores:

1. Radón interno de las edificaciones;
2. Radiactividad equivalente de Uranio;
3. Geología;
4. Permeabilidad del suelo; y,
5. Tipo de arquitectura.

De acuerdo con este trabajo y tomando como base las normas establecidas por la EPA de los Estados Unidos de América, se estableció que en el suroriente de Manizales:

1. Los niveles de radón en las aguas de consumo, son bajos y no presentan ninguna amenaza para sus habitantes;
2. Los niveles de radón en el aire interno de las viviendas, en promedio son también bajos; exceptuándose tres construcciones evaluadas con valores superiores a los 4.0 pCi/L;
3. El radón en los suelos monitoreados se clasificaron en < 800 pCi/L y > 800 pCi/L. Los segundos correspondieron a zonas sobre fallas activas normales. Se destacó la construcción de una gran vivienda sobre el cruce de dos fallas activas, donde se midieron niveles de radón en el suelo de 25000 pCi/L. Se considera que cuando sea habitada esta vivienda podría tener nocivos niveles de radón en su interior.

4. CONCLUSIONES

Respecto a la radiactividad, durante varias décadas y producto de la guerra fría la atención del público ha estado enfocada en la amenaza radiactiva de origen artificial (plantas nucleares, desechos nucleares, rayos X, etc). Sin embargo, se ha desconocido que la población ha estado expuesta a una mayor radiación - la radiación natural causada por los altos niveles de radón dentro de los edificios que habitamos y frecuentamos. El gas radón y sus descendientes radiactivos, el polonio y el bismuto son los responsables del 65% de la amenaza radiactiva natural.

Con respecto al efecto del gas radón sobre la salud pública algunos gobiernos se han esforzado por regular la exposición al gas radón, creando Programas Nacionales de Radón donde participan expertos de diversas disciplinas, destacándose las ciencias exactas y naturales, las ciencias médicas, las ciencias sociales, las ingenierías y la arquitectura.

Estos programas de radón se han concentrado en un primer objetivo: Las medidas preventivas para remediar la exposición radiactiva natural no solamente en las nuevas construcciones, sino también en las ya existentes.

Las medidas preventivas comprenden tres principales aspectos:

1. El establecimiento de una legislación que permita regular y controlar todas las posibles fuentes de gas radón;
2. Sistemas de control a todos los productores e importadores de materiales de construcción y en los acueductos municipales y veredales;
3. Educación a la población sobre la amenaza del gas radón, incluyendo la cultura de la ventilación de las viviendas y los lugares de trabajo, pues el aire es el mejor diluyente de esta amenaza natural.

REFERENCIAS

Bertell, R. (1991). No immediate danger, Prognosis for a radioactive earth, The Book Publishing Company, Summertown, Tennessee, USA, pp. 15-63.

Doi, M., Fujimoto, K., Kobayashi, S., and Yonehara, H. (1994). Spatial distribution of thoron and radon concentrations in the indoor air of a traditional Japanese wooden house. *Health Physics*, Vol. 66, N.1, pp. 43-49.

Environmental Protection Agency - EPA (2002). Zone map of radon. <http://www.epa.gov/iaq/radon/index.html>

Flood, R.L., Thomas, T.B., Suneson, N.H., and Luza, K.V., (1990). Radon potential map of Oklahoma. Oklahoma Geological Survey Map GM-32, scale 1:750.000. USA.

Garzón, G., (1996). Mediciones del Rn^{222} y CO_2 en el suelo del volcán Galeras (Colombia) y ocurrencia de sismos locales. II Seminario Latinoamericano "Volcanes, Sismos y Prevención". Lima y Arequipa, Perú, pp. 115-118.

González, L. y Garzón, G., (2001). Estudios isotópicos en la falla Villamaría-Termale, departamento de Caldas, Colombia. *Revista Horizontes Naturales*, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Caldas, Manizales, Vol. 4, pp. 17-30.

Gundersen, L.C.S., Schumann, R.R., Otton, J.K., Dubiel, R.F., Owen, D.E., and Dickinson, K.A., (1992).

Geology of radon in the United States. In: Gates, A.E. and Gundersen, L.C.S. (editors), *Geology control on radon*. The Geological Society of America, Special Paper, Vol. 271, pp. 1-16.

Hiwely, W., (2003). Es beneficiosa para usted la radiación?. En: *Revista Discover en español*, Ideas Publishing Group, Miami, Florida, USA, 56-62.

Keller, G., (1992). Mitigation in high radon areas in Germany. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 45, pp. 565-568.

Morán, C., Chica, A., y Garzón, G., (2001). Estudio de gases en seis fallas geológicas del departamento de Nariño, Colombia. *Revista Horizontes Naturales*, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Caldas, Manizales, Vol. 4, pp. 53-62.

Salazar, S. P., Carvajal, C.A., and Garzón, G. (2003). Radiological geohazard survey in the southeast of Manizales city, Colombia. 7th International Conference on Gas Geochemistry, Freiberg, Germany, 3-5. <http://www.copernicus.org/ICGG7>

Salazar, S. P., (2002). Mapa geoquímico del gas radón para el suroriente del municipio de Manizales. Tesis de pregrado: Programa de Geología y Minas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Caldas, Manizales, 104pp.

Segovia, N., Pena, P., and Tamez, E., (1991). Radon survey in Mexico city. *Nuclear Tracks and Radiation Measurement*, Vol. 19, N.1, pp. 405-408.

Trabajo recibido: octubre 8 de 2003

Trabajo aceptado: marzo 9 de 2004