

# LA CONCENTRACION DE RADON COMO INDICE DE RENOVACION DEL AIRE EN CAVIDADES SUBTERRANEAS: PRIMEROS RESULTADOS DE LAS CUEVAS DE NERJA Y CANDAMO.

Vicente Soler Javaloyes\*

## INTRODUCCION

El radón (Rn-222) es un gas radioactivo, de 3,85 días de vida media, que se genera en la cadena del U-238 por desintegración del Ra-226. Debido a que el uranio está presente en la práctica totalidad de las formaciones que componen la corteza terrestre, en cualquier material (roca, suelo, etc.) existe una concentración gobernada fundamentalmente por el equilibrio secular de la cadena radioactiva. Dada su condición gaseosa, el radón se difunde por los poros y diaclasas de los materiales y escapa a la atmósfera desde las capas más superficiales del terreno, a un ritmo promedio de unos 0.5 pCi/m.<sup>2</sup> S; este ritmo puede verse afectado por los cambios de presión atmosférica, por el contenido de humedad del suelo, etc.; siendo la concentración de este gas en la atmósfera varios órdenes de magnitud inferior a la que se alcanza en suelos y rocas. Esta exhalación casi constante de radón hace que en cualquier cavidad o recinto cerrado se establezca, con el tiempo, una concentración máxima o de equilibrio, en la que el radón que desaparece por decaimiento radioactivo es igual al que emana por la superficie libre que conforma el recinto. Esta concentración máxima es función de la relación superficie/volumen (A/V) del recinto y de la emisividad de los materiales que lo forman (Garzón 1978 y 1991). Cuando dejan de verificarse las condiciones de estanqueidad, se produce un descenso de la concentración de radón (por pérdidas a la atmósfera), que es proporcional al ritmo de renovación del aire del recinto y de ahí la posibilidad de utilización de estas medidas de radón como índice de ventilación (Garzón 1978 y Villar y otros 1984). Normalmente resulta difícil evaluar la concentración teórica de equilibrio para una cavidad natural, sobre todo teniendo en cuenta su forma irregular que obliga a simplificar en la estimación de la relación A/V, y la gran variabilidad de la exhalación; de cualquier forma, con una serie de medidas continuadas, se puede normalmente establecer la presencia o no de un sistema natural de ventilación y, admitiendo un flujo constante de radón desde el subsuelo, cuantificar el ritmo de ventilación.

## TRABAJOS DE CAMPO Y DETERMINACIONES ANALITICAS

Los trabajos de campo se realizaron en dos campañas que tuvieron lugar en mayo de 1990 y junio de 1991 en

la cueva de Nerja (Nerja, Málaga) y en marzo y septiembre de 1991 en la cueva de Candamo (San Román de Candamo, Asturias).

En el caso de la cueva de Nerja, se trata de una cavidad con unas condiciones de utilización estables y un elevado ritmo de visitas que alcanza el medio millón anual. Este elevado número de visitantes tiene una influencia directa en el contenido de CO<sub>2</sub> (Hoyos y Soler, en este volumen), de forma que resulta difícil utilizar la concentración de este gas para estudiar las influencias de los factores meteorológicos en el sistema de ventilación de la cueva, de ahí el interés en realizar medidas de radón no afectadas por la influencia antrópica que sufre la cueva, para estudiar su sistema de ventilación.

En situación casi diametralmente opuesta se encuentra la cueva de Candamo, que había permanecido cerrada de forma bastante estanca desde finales de 1979. Ante la elevada concentración de CO<sub>2</sub> detectada en su interior (Hoyos et al., en este volumen) se decidió realizar un ranurado en la puerta, de forma que totalizara una superficie de ventilación aproximadamente igual a la que tenía cuando se descubrió. Afortunadamente, se ha podido efectuar una medida antes y otra después de que se abriesen las ranuras en dicha puerta.

Todas las determinaciones analíticas se realizaron en el laboratorio de radón de la Estación Volcanológica de Canarias, que cuenta en la actualidad con los siguientes sistemas de medida de radón:

- Espectrometría de radiación gamma para determinaciones con canastillas de carbono activo.
- Emanometría directa por scintilometría de la emisión de partículas alfa del propio radón.
- Detectores Track-etch de largo periodo de integración.

En este trabajo se empleó el método de las canastillas de carbono que, fue el primero en ponerse a punto y el único disponible en la época en que se comenzaron las determinaciones.

El modo operativo de este método (Cohen and Cohen 1983 y Andreas 1984), consiste en la exposición a la atmósfera de la cueva durante 72 horas de unas canastillas cilíndricas de 10 cm. de diámetro por 3 de altura que contienen en su interior algo más de 100 gr. de carbono activo. Una vez cerradas se deja transcurrir un período mínimo de 5 horas para que se equilibre la concentración de los descendientes del radón (Pb-214 y Bi-214) cuyo espectro de radiación gamma se analiza. El procedimiento de medida seguido es el recomendado por la "U.S. Environmental Protection Agency (EPA)" (Ronca-Battista et al.

\* Estación Volcanológica de Canarias C.S.I.C. 38206 La Laguna. Tenerife.

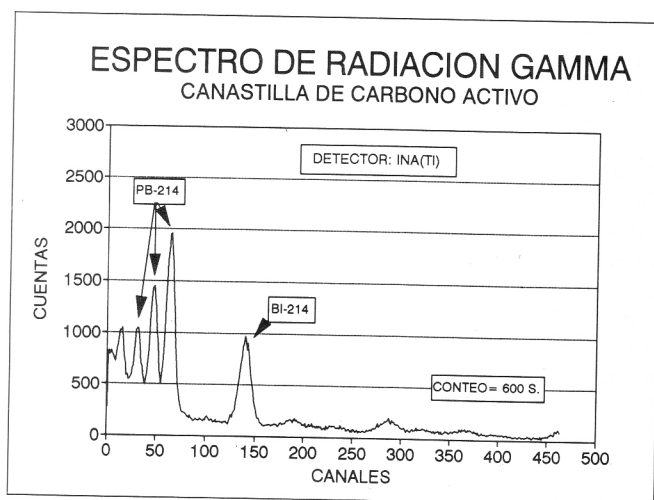


Figura 1

1986 y Gray and Windham 1987). En la figura 1 podemos observar un espectro, obtenido con un analizador multicanal, con los picos de emisión más destacados de estos elementos y que son los empleados en el cálculo.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En las tablas 1 y 2 se recogen los resultados de las medidas efectuadas en las dos campañas en ambas cuevas. Para poder evaluar cuantitativamente el ritmo de ventilación en forma de caudal de aire intercambiado, sería preciso disponer de medidas continuas que nos permitiesen conocer el tiempo en el que se producen las variaciones de la concentración de radón. Debido a que tan sólo disponemos de dos medidas puntuales muy distanciadas en el tiempo, únicamente se podrá aportar aquí una interpretación cualitativa de los resultados.

En el caso de la cueva de Nerja, se obtuvieron concentraciones de radón unas 7 veces superiores en la segunda medida. Ya que las condiciones de acceso a la cueva no variaron entre las dos medidas, se decidió estudiar la posible influencia de las variaciones de presión atmosférica en los cambios de concentración encontrados. Para ello, se compilaron los datos que se presentan en la figura 2. En ella se observa claramente cómo la concentración de radón en condiciones de baja presión (junio de 1991) son mucho más elevadas que las medidas en situación de alta relativa (mayo de 1990). Salvo la medida efectuada en el fondo de la sala del Cataclismo, que comentaremos más adelante, se aprecia una distribución bastante uniforme de

la concentración de radón en la cueva sin acumulaciones en las zonas más alejadas de la entrada.

Los valores en torno a los 15 pCi/l medidos en junio de 1991 en condiciones de baja presión atmosférica, se corresponden con la concentración de equilibrio para una exhalación media de 0.5 pCi/m<sup>2</sup>s y una aproximación de la figura de la cueva a un cilindro de 30 m. de diámetro; es decir, a una situación de mínima renovación de la masa de aire. Ello no quiere decir que no quepa esperar en la cueva mayores concentraciones de radón, ya que se ha supuesto un valor promedio para la constante de exhalación, y el valor real puede, como parece suceder en Candamo, apartarse bastante del supuesto.

Por contra, el valor de 2.5 pCi/l obtenido en mayo de 1990 es prácticamente igual al encontrado en ambas campañas en una vivienda del entorno, y corresponde por tanto a una situación de máxima ventilación natural; esto confirma la idea de que la cueva posee un sistema de ventilación tal como ya lo apuntaba el descenso sistemático de la concentración de CO<sub>2</sub> desde que la cueva se cierra al público por las tardes, aunque los datos de radón parecen asimismo señalar un cierto papel modulador de la presión atmosférica en este sistema de ventilación.

Tal como ya mencionábamos, la concentración de radón en el fondo de la sala del Cataclismo es dos veces la del resto de la cueva, lo que planteaba la duda de si se trataba de una estratificación vertical del radón debido a su elevada densidad (9.73 gr/l) o bien de una zona generadora de radón. Para intentar esclarecer este aspecto, se efectuaron tres medidas de emanación con sendos acumuladores (Hesselbon 1985) de forma troncocónica de 6662 Cm<sup>3</sup> de volumen y 433 Cm<sup>2</sup> de base. Estos resultados se recogen, entre paréntesis, en la tabla 1, y en ella se observa cómo, mientras en la sala de los Fantasmas y en la parte alta de la sala del Cataclismo se obtienen valores prácticamente iguales a la atmósfera de la cueva en ese momento, en el fondo de la sala del Cataclismo la concentración en el interior del acumulador es 10 veces superior a la atmósfera que lo rodea y 20 veces el valor medio de la cueva; lo que se interpreta como una zona clara de generación de radón.

Como hipótesis, y dado que se trata de la parte más profunda de esta zona de la cueva, tal vez se podría buscar su origen en una migración de radón desde cavidades inferiores, sin comunicación directa con el exterior; en ellas debido a la mayor actividad del karst y su condición de semicerradas, se podrían alcanzar concentraciones de radón superiores a las que presenta la cueva en la actualidad. En este sentido conviene mencionar que a partir de los datos de nivel piezométrico de un pozo perforado jun-

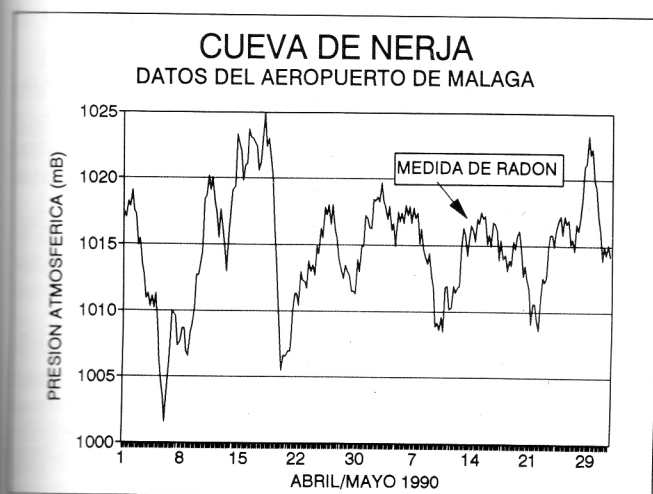


Figura 2a

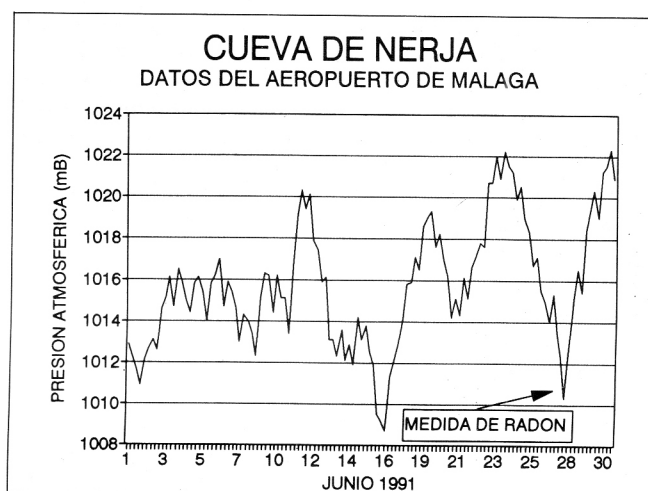


Figura 2b

to a la cueva, la zona freática del karst se sitúa a tan solo unos 15 metros por debajo del fondo de la sala del Cataclismo.

En el caso de la cueva de Candamo, el efecto de apertura parcial de la puerta es muy claro, ya que se pasa de valores en torno a los 430 pCi/l con la puerta cerrada, a concentraciones de 55 pCi/l con la puerta ranurada. Ese descenso es, asimismo, claro en la concentración de CO<sub>2</sub> que

#### CUEVA DE NERJA

PUNTO DE MUESTREO	11/15/90 (pCi/l)	25/6/91 (pCi/l)
Sala de la Entrada	2.32±0.36	15.9±1
Sala del Balet	2.65±0.37	14.4±1.2
Sala de los Fantasmas	1.92±0.34 (2.71±0.33)	—
Cataclismo (parte alta)	2.12±0.35 (2.60±0.31)	14.5±1.2
Cataclismo (fondo)	4.23±0.39 (49.0±0.79)	32.9±1.1
Vivienda exterior	2.16±0.30	1.5±0.8

Tabla 1.—Concentraciones de radón obtenidas durante las dos campañas de medida en la cueva de Nerja.

#### CUEVA DE CANDAMO

PUNTO DE MUESTREO	12/3/1991 (pCi/l)	14/11/1991 (pCi/l)
Galería inferior	469.3±2.8	64.1±1.9
Sala de la entrada	427.0±2.7	58.9±1.9
Gran panel	629.4±2.9	42.0±1.7
Camarín	405.9±2.8	53.6±1.8

Tabla 2.—Concentraciones de radón medidas en la Cueva de Candamo. La determinación del 12/3/1991 se efectuó con la puerta cerrada y la del 14/11/1991 con un ranurado en la puerta, para ventilación, de 1 m.<sup>2</sup> de superficie.

baja a valores atmosféricos del orden de las 300 ppm. desde concentraciones que en la sala del Gran Panel alcanzaban las 4.000 ppm. (Hoyos et al., en este volumen).

Las medidas efectuadas con la puerta cerrada, (Tabla 2, 12/3/91), ponen de manifiesto una ligera estratificación vertical de la concentración de radón, con 64 pCi/l más en la galería inferior que en el camarín, que son los puntos de medida con mayor separación en la vertical.

En cualquier caso, estas concentraciones en torno a los 430 y 55 pCi/l antes y después de abrir el ranurado de ven-

tilación, parecen muy elevadas para lo que cabría esperar en una cueva con salas de casi 20 m. de diámetro, situada en una zona sin tectónica activa en la actualidad, lo cual hace que se continúe en la actualidad con el estudio detallado de las variaciones de la concentración de radón en esta cueva.

Finalmente, mencionar que a la luz de los datos de concentración de radón que aquí se recogen y de las determinaciones de CO<sub>2</sub> efectuadas en estas cuevas, parece claro que las variaciones de presión atmosférica juegan un papel más importante de lo que hasta ahora se les había atribuido en la ventilación natural de cavidades, al menos de aquellas situadas en sistemas permeables.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Patronato de la cueva de Nerja, que mediante convenio con el C.S.I.C. financió las determinaciones realizadas en dicha cueva y a D. Javier Fortea Pérez, que desinteresadamente colaboró con la exposición y recogida de las canastillas de carbono activo en la cueva de Candamo.

#### REFERENCIAS

- ANDREAS C.G., 1984. Passive, integrated measurement of indoor radon using activated carbon. *Health Physics Vol. 46 N.º 4*.
- COHEN B. L. and COHEN E.S., 1983. Theory and practice of radon monitoring by adsorption in charcoal. *Health Physics Vol. 45 N.º 50*.
- GARZON L., 1978. La radiactividad natural en cavidades subterráneas. *Energía Nuclear N.º 114*, 267-272.
- GARZON L., 1991. Radón y sus riesgos. *Universidad de Oviedo. Servicio de Publicaciones*, 348 pp.
- GRAY D.J. and WINDHAM S.T., 1987. EERF standard operating procedures for radon-222 measurement using charcoal canister. *U.S. Environmental protection agency, EPA 520/5-87-005*.
- HESSELBON A., 1985. Radon in soil gas. *Sveriges Geologiska Undersökning, Serie CNR803*, 58 pp.
- HOYOS M., SOLER V. y FORTEA J. La Cueva de la Peña de Candamo (Asturias): Primeros resultados microclimáticos, en este volumen.
- RONCA-BATTISTA M., MAGNO P., WINDHAM S. and SENSINTAFFAR E., 1986. Interim indoor radon and radon decay product measurement protocols. *U. S. Environmental protection agency, EPA 520/1-86-04*.
- VILLAR E., BONET A., DÍAZ-CANEJA B., FERNÁNDEZ P.L., GUTIÉRREZ I., QUINDÓS L.S., SOLANA J.R. y SOTO J., 1984. La ventilación natural de la sala de las pinturas de la cueva de Altamira. Contenido en Radón. *Centro de Investigación y Museo de Altamira. Monografía N 11*, pp. 21-34