

Y. del Rosal Padial, et al., 2010. Estudios del radón en la Cueva de Nerja (Málaga). En: J. J. Durán y F. Carrasco (Eds.), *Cuevas: Patrimonio, Naturaleza, Cultura y Turismo*, pp. 183-192. Madrid. Asociación de Cuevas Turísticas Españolas.

Estudios del radón en la Cueva de Nerja (Málaga)

Y. del Rosal Padial, A. Garrido Luque, A. Montesino Baca y C. Liñán Baena

Instituto de Investigación Cueva de Nerja. Carretera de Maro s/n 29787 Nerja (Málaga).
yolanda@cuevanerja.com, agarrido@cuevanerja.com, amontesino@cuevanerja.com, cbaena@cuevanerja.com

RESUMEN

La relación entre el radón y la salud ha generado el interés por su investigación, tanto en viviendas como en lugares de trabajo. En España, el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes aprobado por el Real Decreto 783/2001 y de conformidad con la Directiva 96/29/EURATOM del Consejo, de 13 de mayo de 1996, establece las normas básicas relativas a la protección sanitaria de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes, tanto si su procedencia es de origen artificial como natural e independientemente que se trate de una actividad laboral o de otras situaciones de exposición. Los elevados niveles de radón que, en ocasiones, se han determinado en espacios subterráneos como cuevas, túneles, minas y galerías, hacen de estos lugares zonas de especial interés para su estudio. En la Cueva de Nerja, desde principios de los años 90 y hasta la actualidad, se han desarrollado diversos trabajos de investigación con el objetivo de cuantificar la concentración de radón en el aire, mediante el empleo de diferentes metodologías. En todos los casos, el resultado ha mostrado una baja concentración de radón, por lo que no representa un factor de riesgo para la salud de los trabajadores y visitantes de la cueva.

Palabras clave: Cueva de Nerja, radiación, radón, reglamento, salud

Radon research in Nerja Cave (Malaga)

ABSTRACT

The relationship between radon and health has generated the interest for research, both in homes and in workplaces. In Spain, the Rules for Health Protection against Ionizing Radiation approved by the Royal Decree 783/2001 and agree with the Council Directive 96/29 of 13 May 1996, lays down basic safety standards for health protection the public against the dangers arising from ionizing radiation, whether their origin is natural or artificial and independently if it is a work exposure or other situations. High levels of radon determined at times in underground caves, tunnels, mines and galleries, make these places special interest areas for its study. In Nerja Cave since the early 90s and until now, several research projects have been developed with the aim of quantifying the concentration of radon in the air, using different methodologies. In all cases, the result revealed a low concentration of radon, so it is not a risk factor for the health of workers and visitors.

Key words: health, Nerja Cave, radiation, radon, rules

El radón en el medio subterráneo: cuevas

La radiactividad es la propiedad física que poseen algunos cuerpos o elementos químicos de emitir partículas y radiaciones cuando se desintegran y se transforman en otro elemento. La

Y. del Rosal Padial, et al., 2010. Estudios del radón en la Cueva de Nerja (Málaga)

radiación natural tiene su origen en las cadenas de desintegración de los isótopos de uranio ^{238}U y ^{235}U y del isótopo de torio, ^{232}Th , que finalizan con la formación de un isótopo estable de plomo. Durante estos procesos de desintegración se originan elementos radiactivos, entre los que se encuentran los isótopos de radón: ^{219}Rn , ^{220}Rn y ^{222}Rn . El ^{222}Rn , derivado de la cadena de ^{238}U , es conocido propiamente como radón y tiene una vida media de 3,8235 días, mientras que la vida media de los isótopos ^{219}Rn y ^{220}Rn es de 3,9 y 54 segundos respectivamente. El radón es un gas noble radiactivo gaseoso, incoloro e insípido en su estado natural, cuyos átomos de elementos descendientes se recubren de una capa de moléculas de agua y se adhieren a aerosoles formando el llamado aerosol radiactivo de los descendientes del radón (Robayna, 1998).

El uranio, fuente de radón, se encuentra distribuido de forma heterogénea por la corteza terrestre, y su concentración depende del tipo de roca y suelo que lo contenga. El movimiento de radón en el suelo se debe principalmente a procesos de difusión o de transporte mediante fluidos. En general, la difusión es el mecanismo dominante en canales intergranulares, capilares y poros más pequeños, mientras que en poros de mayor tamaño y fracturas, predomina el transporte mediante fluidos (Tanner, 1978). La fracción de radón que se escapa del suelo depende de diversos factores (Dueñas y Fernández, 1983; Dezsö, Hakl y Molnár, 2002) como las condiciones climáticas, la naturaleza, porosidad y humedad del suelo o la profundidad a la que se ha formado y, por tanto, tan sólo un porcentaje de este gas alcanzará la superficie. En las cavidades, el radón puede migrar a la atmósfera subterránea desde el suelo y desde la roca encajante, a través de sus poros. Factores como la diferente porosidad del suelo y una pobre ventilación pueden inducir concentraciones de radón muy superiores a la esperada, esto es, intermedia entre la de la atmósfera exterior y la del suelo.

Desde hace décadas, se han desarrollado estudios destinados a controlar la concentración de radón en cuevas, túneles, minas y otros medios subterráneos, motivados principalmente por su relación con la salud de las personas (Field et al., 2000; Darby et al., 2005). En este sentido, son numerosos los países que han realizado investigaciones para determinar la concentración de radón en cuevas, en especial en cuevas turísticas, de cara a la protección radiológica de sus trabajadores y visitantes (Ronaki, 1972; Wilkening y Watkins, 1976; Solomon, et al., 1996; Hakl, et al., 1997; Cigna, 2005; Nemangwele, 2005). En términos generales, no existe un valor promedio de concentración de radón en cavidades y, aunque son más frecuentes los resultados relativos a una baja concentración de radón en el aire, no puede descartarse la existencia de cuevas con elevada concentración de radón (Cigna, 2003), como la Cueva de Altamira, en Cantabria, con un promedio anual de radón de 3.562 Bq/m³ (Lario, et al., 2005) o la cueva de Castañar de Ibor, en Cáceres, con una media anual de 32.246 Bq/m³ y niveles de hasta 50.462 Bq/m³ (Lario et al., 2006).

Normativa sobre el radón en España

El ordenamiento jurídico español aprueba mediante el Real Decreto 178/2001, el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (RPSCRI), en base a la Directiva 96/29/EURATOM del Consejo, de 13 de mayo de 1996, que establece las normas básicas

relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes. Este reglamento es de aplicación a todas las prácticas que presenten un riesgo de radiación, tanto si su origen es natural o artificial y su objetivo es la protección de la salud de las personas. El RPSCRI, en su Título VII, identifica las fuentes de radiación natural, entre las que se encuentran los establecimientos termales, cuevas, minas y lugares de trabajo subterráneos en áreas identificadas. Una falta de precisión en diversos aspectos motivó que el Centro de Seguridad Nuclear, en 2007 y en cumplimiento de las funciones de asesoramiento que tiene asignadas, emitiera unos criterios radiológicos a añadir al desarrollo del título VII (Consejo de Seguridad Nuclear, 2010), entre los que se encuentra la obligación de realizar estudios sobre la concentración de radón en lugares de trabajo en los que exista exposición a este gas. Estos estudios deberán incluir:

1. Localización y descripción de la instalación.
2. Medidas de concentración de radón realizadas y sus resultados, con planos indicando la colocación de los equipos de medida.
3. Descripción de los puestos de trabajo y tiempo de permanencia en ellos.
4. Acciones correctoras previstas o adoptadas cuando los resultados de las medidas estén por encima de los niveles de actuación establecidos.

El Consejo de Seguridad Nuclear será el organismo que evaluará los resultados e identificará aquellas actividades laborales que deban ser objeto de especial atención y estar sujetas a control. Este organismo ha establecido un valor medio anual máximo de 400 Bq/m³ para la concentración de radón, notablemente inferior al valor de 1.500 Bq/m³ propuesto por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, 1993). Valores superiores requerirán de un nivel de intervención, para disminuir la concentración de radón en el aire o, en su caso, para aplicar las correspondientes medidas de protección radiológica de las personas. Asimismo, el Consejo de Seguridad Nuclear comunicará a la autoridad competente las conclusiones y medidas necesarias a exigir a los titulares de la actividad. Estos nuevos contenidos se reflejan, en la actualidad, en un proyecto de Real Decreto para la modificación del Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes vigente (España, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2010).

Resultados de los trabajos sobre radón realizados en la Cueva de Nerja

La Cueva de Nerja se ubica en la provincia de Málaga y se desarrolla en un conjunto de mármoles dolomíticos que conforman la vertiente meridional de las sierras de Tejeda, Almijara y Alhama. La cavidad, de desarrollo horizontal, cuenta con una superficie y volumen aproximados de 35.000 m² y 300.000 m³ respectivamente. Su comunicación con el medio exterior se realiza a través de dos torcas naturales y de una entrada habilitada en 1959 para la visita turística, amén de las numerosas diaclasas y fracturas existentes en los mármoles. En la Cueva de Nerja se diferencian dos sectores (Fig. 1): las Galerías Turísticas, visitadas por unas 450.000 personas al año, y el resto de la cavidad, las Galerías Altas y Nuevas, cuyo acceso se limita a pequeños grupos de participantes en la actividad de espeleoaventura e investigadores. El caudal de goteo en la cavidad es máximo en primavera-verano y mínimo en otoño-invierno aun-

que, en términos generales, es muy bajo, con un caudal medio de 89 cm³/día para un gotero representativo ubicado en las Galerías Turísticas (Carrasco y Andreo, 1993; Liñán et al., 2008).

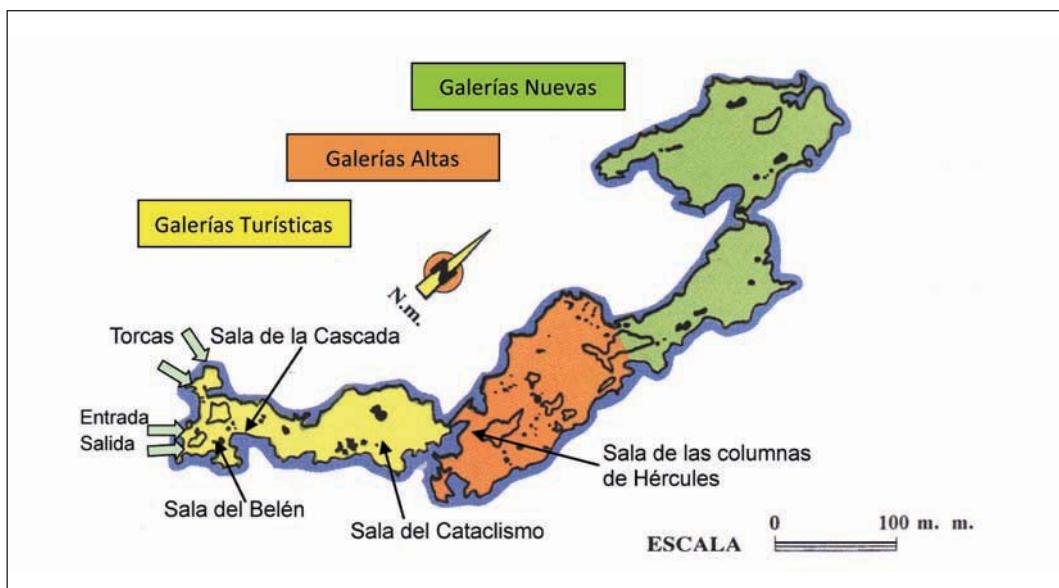


Figura 1. Planta de la Cueva de Nerja

En la Cueva de Nerja, desde la década de los 90, se han realizado varios proyectos de investigación destinados a determinar la concentración de radón (²²²Rn) en el interior de la cavidad. Este trabajo presenta un compendio de los resultados obtenidos para la concentración de radón en el aire, así como las conclusiones derivadas de cada uno de ellos. Además, se muestran en menor detalle, otros resultados relativos al radón en la cavidad.

Medidas de radón instantáneas

En el marco de una tesis de licenciatura (Cañete, 1997) adscrita al Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Málaga y desarrollada desde 1992 hasta 1995, se analizaron 300 muestras de aire obtenidas mediante células tipo Lucas (Lucas, 1957). Esta célula es un cilindro de metacrilato recubierto interiormente, a excepción de la base, por un plástico especial de color blanco llamado mylar. Sobre este plástico se deposita una suspensión de sulfuro de zinc activado con plata como detector de la radiación alfa emitida por el radón y sus descendientes. La célula se cierra por la base, mediante un disco de metacrilato provisto de una junta tórica y, en la cara superior, se coloca una llave de gases ValGrif. La concentración de

radón se calculó mediante detectores de centelleo sólido, basados en la pérdida de energía de las partículas alfa al atravesar ciertas sustancias fluorescentes.

Los puntos de muestreo se localizaron en las salas de Belén (*Hall*), Cascada (*Ballet*) y Cataclismo (*Mirador*), en las Galerías Turísticas, y en la Sala de las Columnas de Hércules (*C. Hércules*), ubicada en las Galerías Altas. La concentración de radón en el aire de la cueva indicó un valor máximo de 488 Bq/m³, el 21 de julio de 1993 y un mínimo de 5 Bq/m³, el 9 de febrero de 1994, en ambos casos en la Sala del Belén. La distribución estadística de las concentraciones en radón en los diferentes puntos de muestreo correspondió a una distribución normal, con una media de $74 \pm 2,7$ Bq/m³. La evolución temporal de la concentración de radón fue similar en las distintas salas analizadas, con oscilaciones periódicas a lo largo del año, con máximos en verano y mínimos en invierno (Fig. 2).

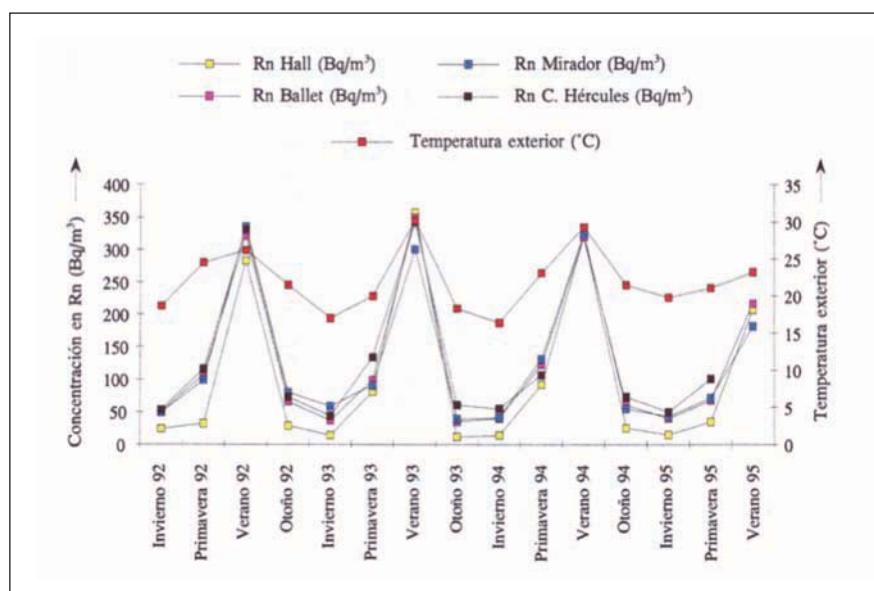


Figura 2. Concentración de radón en distintas salas de la cueva y temperatura del aire exterior. Los datos corresponden al valor medio en cada estación del año (Cañete, 1997)

El trabajo incluyó, además, un estudio de la ventilación de la cavidad siguiendo la metodología recogida en Wilkening y Watkins (1976) y Villar *et al.*, (1984), estableciendo un índice de ventilación para la cavidad de 2,8 m³/s durante el invierno-otoño y de 0,2 m³/s en primavera-verano. Los valores medios anuales del índice de ventilación determinados para las salas del sector turístico fueron 1,50 m³/s en la Sala del Belén, 1,17 m³/s en la Sala de la Cascada y 2,16 m³/s en la del Cataclismo. Asimismo, se calculó un promedio de exhalación de radón en el suelo de la cueva de 24.000 Bq/m³, y se concluyó que el nivel de radiación recibido por trabajadores y visitantes de la cavidad no representaba un factor de riesgo para su salud.

Y. del Rosal Padial, et al., 2010. Estudios del radón en la Cueva de Nerja (Málaga)

Medidas de radón en continuo (ALPHA-GUARD)

Durante los años 2003 a 2005, el Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidad de Málaga desarrolló un proyecto de investigación para evaluar el índice de ventilación de la Cueva de Nerja y calcular las dosis de radicación recibidas por trabajadores y visitantes (Laboratorio de Radiactividad Ambiental Universidad de Málaga, 2005). En este caso, se midió la concentración de radón en continuo, mediante un equipo ALPHA-GUARD, modelo PQ2000PRO, instalado a 0,8 metros del suelo, que ofreció datos horarios de concentración de radón en el aire. El funcionamiento de este equipo se basa en la espectrometría alfa del radón y sus descendientes, procedente del volumen de aire que ha entrado en la cámara de ionización y que previamente ha sido filtrado para permitir únicamente la entrada de gas radón.

El muestreo se llevó a cabo en tres salas de las Galerías Turísticas de la Cueva de Nerja: Sala del Belén (*Hall*) desde julio de 2003 hasta julio de 2004, Sala de la Cascada (*Ballet*) desde julio de 2004 hasta julio de 2005 y Sala del Cataclismo (*Columna*) desde julio hasta diciembre de 2005. El gran volumen de datos generado permitió realizar estudios estadísticos de elevada fiabilidad y, además, los resultados correspondientes al período comprendido entre octubre y diciembre de 2004 se integraron en una campaña de intercomparación de medidas de radón entre laboratorios españoles, que obtuvo excelentes resultados (Consejo de Seguridad Nuclear, 2004). En este caso, los valores de concentración no tuvieron una distribución normal y estuvieron comprendidos entre 11 y 625 Bq/m³, con valores superiores a 400 Bq/m³ durante los meses de julio y agosto. En la figura 3 se muestran los datos correspondientes a la media semanal para cada una de las salas durante el período de estudio. Estudios estadísticos determinaron modelos de correlación entre la concentración de radón y la temperatura

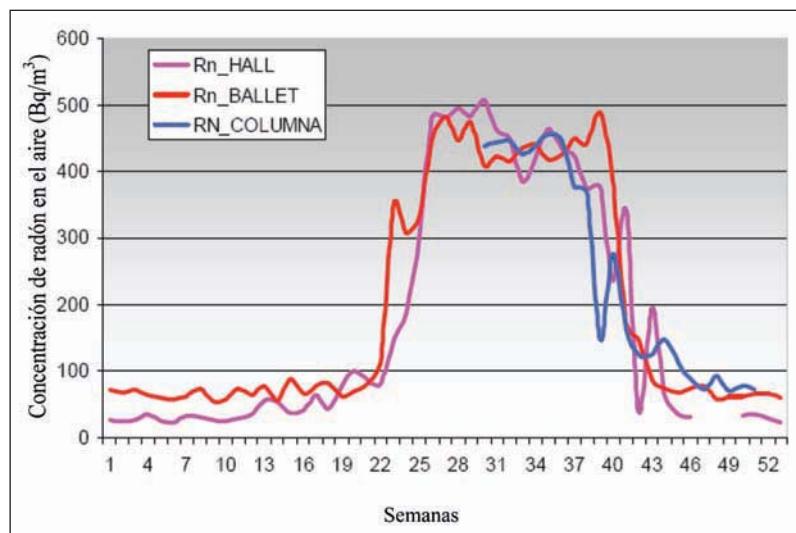


Figura 3. Concentración media semanal de radón en cada una de las salas muestreadas (Laboratorio de Radiactividad Ambiental Universidad de Málaga, 2005). La semana 1 corresponde a la primera semana de enero

y humedad de la cueva, así como con la temperatura exterior (Tabla 1). En todos los modelos se obtuvieron correlaciones positivas entre los parámetros citados.

Además se calculó el índice de ventilación siguiendo la metodología de Wilkening y Watkins (1976) y Villar *et al.*, (1984), obteniéndose un valor medio anual de 1,44 m³/s en la Sala del Belén y de 1,34 m³/s en la Sala de la Cascada. Los datos de concentración de radón obtenidos determinaron nuevamente que la dosis de radiación recibida por los trabajadores y visitantes de la Cueva de Nerja no representaba un factor de riesgo para su salud.

Modelo				r	p-value	Modelo				r	p-value
		Coeficientes	Error tip.					Coeficientes	Error tip.		
1	(Constante) TEMP_EXT	-231,597 23,515	3,308 0,186	0,822	0,000	1	(Constante) TEMP_EXT	-299,7 26,6	4,2 0,2	0,823	0,000
2	(Constante) TEMP_EXT TEMP_INT	-1847,719 15,573 83,840	37,804 0,250 1,955	0,859	0,000	2	(Constante) TEMP_EXT HUMEDAD	-531,4 16,7 5,4	7,5 0,3 0,1	0,852	0,000
3	(Constante) TEMP_EXT TEMP_INT HUM	-1798,217 15,386 79,108 0,641	44,489 0,265 2,975 0,304	0,859	0,000	3	(Constante) TEMP_EXT HUMEDAD PRESION	-975,2 16,8 5,3 0,4	219,0 0,3 0,1 0,2	0,852	0,000

Tabla 1. Modelos de correlación múltiple obtenidos para la concentración de radón (variable dependiente) y la temperatura exterior, la temperatura interior y la humedad ambiental de la cavidad. A la derecha, en relación a la concentración de radón en la Sala del Ballet y a la izquierda, en la Sala de la Cascada (Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidad de Málaga, 2005)

Medidas de radón en continuo (RADIM 5WP)

Desde el año 2008, el Instituto de Investigación de la Cueva de Nerja ha medido la concentración de radón en el interior de la cavidad, mediante un sensor modelo RADIM 5WP, especialmente diseñado para lugares húmedos. Su fundamento de trabajo es la captación de las partículas alfa emitidas durante la desintegración del radón y descendientes y su posterior almacenamiento en una cámara en la superficie de un detector semiconductor por un campo eléctrico. El *data-logger* registra un valor de concentración cada 30 minutos.

El sensor permaneció en la Sala de la Cascada, en las Galerías Turísticas de la cavidad, desde el verano de 2008 hasta el verano de 2009. En este periodo, los valores de concentración presentaron una distribución asimétrica. El valor medio diario de la concentración de radón en el aire estuvo comprendido entre 26 y 546 Bq/m³, el 10 de enero y el 25 de julio, respectivamente, alcanzándose valores superiores a 400 Bq/m³ durante los meses de junio a septiembre (Instituto de Investigación Cueva de Nerja, 2008 y 2009). De cara a comparar los registros de

datos obtenidos con los aportados por el sensor ALPHA-GUARD (Fig. 3), se ha elaborado un gráfico con la concentración media semanal de radón en el aire (Fig. 4), observándose que las concentraciones de radón obtenidas son similares en ambos casos, inferiores, por lo general, a 100 Bq/m³ durante los meses de octubre a junio y alcanzando los valores máximos durante el período estival. Al igual que Cañete (1997) y Laboratorio de Radiactividad Natural de la Universidad de Málaga (2005) se observa una correlación significativa entre la concentración de radón en el aire y la temperatura exterior (Fig. 4), con un coeficiente de correlación de 0.9170 para 324 valores.

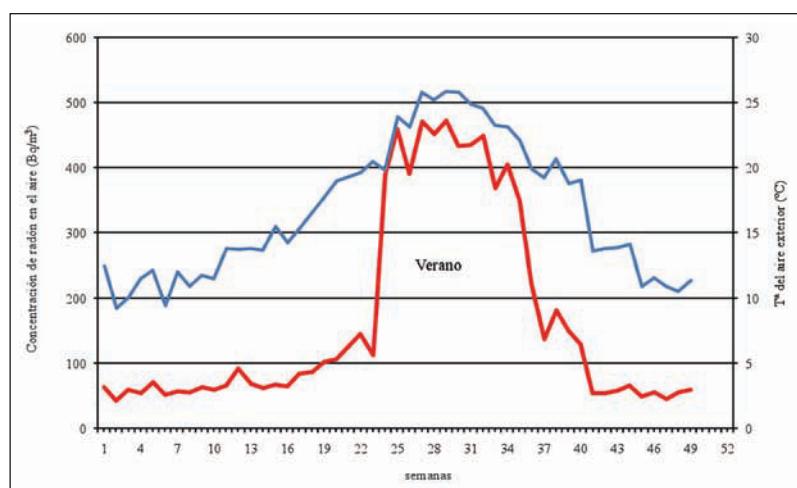


Figura 4. Concentración media semanal de gas radón (^{222}Rn) en el aire de la Sala de la Cascada (color rojo) y temperatura media semanal en el exterior (color azul). La semana 1 corresponde a la primera semana de enero

Conclusiones

La relación entre el radón y la salud ha motivado el interés por su estudio en el medio ambiente interior, en especial en espacios subterráneos como las cuevas turísticas, de cara a la protección de los trabajadores y visitantes frente a la radiación natural.

En la Cueva de Nerja, los distintos trabajos realizados para determinar la concentración de radón en el aire han determinado valores mínimos en invierno y máximos en verano, coincidiendo con períodos de ventilación máxima y mínima respectivamente y en consonancia con la circulación de aire estimada para estas épocas del año en la cueva (Liñán et al., 2009). Las diferencias existentes entre los datos correspondientes a cada uno de los estudios realizados en la Cueva de Nerja, pueden estar relacionadas con el empleo de diferentes técnicas de medida, que abarcan medidas instantáneas, en una primera etapa y medidas en continuo, con diferente instrumental, en las investigaciones posteriores.

Las concentraciones de radón determinadas en la Cueva de Nerja son bajas e inferiores en

todos los casos a los límites máximos contemplados en la actual normativa española. La dosis de radiación recibida por los trabajadores y visitantes de la cavidad no representa un factor de riesgo para su salud.

Referencias

- Cañete, S. 1997. *Concentraciones de Radón e intercambio de aire en la Cueva de Nerja*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Málaga, 84 pp.
- Carrasco, F. y Andreo, B. 1993. Características de las aguas de infiltración de la Cueva de Nerja (Málaga). *Geogaceta*, 14, 9-12.
- Cigna, A.A. 2003. The distribution of radon concentration in caves. *International Journal Speleology*, 32 (1/4), 113-115.
- Cigna, A.A. 2005. Radon in caves. *International Journal of Speleology*, 34 (1-2), 1-18.
- Consejo de Seguridad Nuclear. 2004. *Calidad metrológica y dosimetría del radón. Primera campaña nacional de intercomparación*, Madrid, 72 pp.
- Consejo de Seguridad Nuclear. 2010. http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=article&id=4234&Itemid=242&lang=es
- Doll R. 2005. Radon in Homes and Risk of Lung Cancer: Collaborative Analysis of Individual Data from 13 European Case-control Studies. *British Medical Journal*, 330, 223-227.
- Deszö Z, Halk J. y Molnar, L. 2002. Radon exhalation of limestone bedrock and cave deposits. En: Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences Debrecen (ed.) *ATOMKI Annual Report 2001*, Hungría, 97 pp.
- Dueñas, C. y Fernández, M.C. 1983. Medida de la exhalación en Rn del suelo e influencia sobre la misma de ciertas variables. *Anales de Física*, 79, 10-17.
- España, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. 2010. Proyecto de Real Decreto por el que se modifica el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, aprobado por Real Decreto 783/2001, de 6 de julio.
- http://www.mityc.es/energia/nuclear/Legislacion/Estatal/proyectos/RDrad_ionizantes.pdf
- Field, R.W., Steck, D.J., Smith, B.J., Brus, C.P., Fischer, E.F., Neuberger, J.S., Platz, C.E., Robinson, R.A., Woolson, R.F. and Lynch, C.F. 2000. Residential Radon Gas Exposure and Lung Cancer. The Iowa Radon Lung Cancer Study. *American Journal of Epidemiology*, 151 (11), 1091-1102.
- Hakl, J., Hunyadi, I. and Várhegyi, A. 1997. Radon monitoring in caves. En: Durrani S.A. y Ilic R. (eds.). *Radon measurements by etched track detectors*. World Scientific, Singapore. 261-283.
- Instituto de Investigación Cueva de Nerja. 2008. *Memoria Científica año 2008*. Informe inédito. Fundación Cueva de Nerja, Málaga, 273 pp.
- Instituto de Investigación Cueva de Nerja. 2009. *Memoria Científica año 2009*. Informe inédito. Fundación Cueva de Nerja, Málaga, 295 pp.
- International Commision on Radiological Protection (IRCP). 1993. Protection against Radon²²² at home and at work. Pergamon Press, Oxford. *Annals of the IRCP* 23 (2).
- Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidad de Málaga. 2005. *Determinación del índice de ventilación de la cueva y de la dosis de radiación recibida por visitantes y trabajadores*. Informe inédito. Fundación Cueva de Nerja, Málaga, 32 pp.

Y. del Rosal Padial, et al., 2010. Estudios del radón en la Cueva de Nerja (Málaga)

- Lario, J., Sánchez-Moral, S., Cañaveras, J.C., Cuevza, S., Soler, V. 2005. Radon continuous monitoring in Altamira Cave (Northern Spain) to assess user's annual effective dose. *Journal of Environmental Radioactivity*, 80, 161-174.
- Lario, J., Sánchez-Moral, S., Cuevza, S., Taborda, M. y Soler, V. 2006. High ^{222}Rn levels in a show cave (Castañar de Ibor, Spain): Proposal and application of management measures to minimize the effects on guides and visitors. *Atmospheric Environment*, 40, 7395-7400.
- Liñán, C., Carrasco, F., Vadillo, I. y Garrido, A. 2008. Estudios hidrogeológicos en la Cueva de Nerja. En: López-Geta, A., Rubio Campos y Martín-Machuca (eds.). *Agua y Cultura, VII Simposio del Agua en Andalucía*. Madrid, 673-683.
- Liñán, C., Carrasco, F., Calafolla, J.M., del Rosal, Y., Garrido, A. y Vadillo, I. 2009. Control de parámetros ambientales en las Galerías Altas y Nuevas de la Cueva de Nerja (Málaga). Resultados preliminares. En: Durán, J.J. y López-Martínez, J. (eds.). *Cuevas Turísticas, cuevas vivas*. Madrid, 131-144.
- Lucas, H. 1957. Improved low-level alpha-scintillation counter for Radon. *Review of Scientific Instruments*, 28 (9), 677-727.
- Nemangwele, F. 2005. *Radon in the Cango Caves*. Tesis doctoral. Universidad de Western Cape, Sudáfrica. 92 pp.
- Robayna, B.E. 1998. *Radón en viviendas de las Islas Canarias occidentales. Distribución geográfica y dosimetría*. Tesis doctoral. Universidad de la Laguna, Tenerife, 223 pp.
- Ronaki, L. 1972. Radiological Measurements in the caves of Mecsek regions (Budapest). *Karst-es Barlangkutatas*, 7, 127-133.
- Solomon, S.B., Langroo, R., Lyons, R.G. and James, J.M. 1996. Radon exposure to tour guides in Australian show caves. *Environment International*, 22 (1), 409-413.
- Tanner, A.B. 1978. Radon Migration in the Ground: A Supplementary Review. *Natural Radiation Environment*. III, DOE Symposium Series 51 (1), 5-56.
- Villar, E., Fernández, P.L., Quindós, L.S., Solana, J.R. y Soto, J. 1984. Flujos de materia en la Cueva de Altamira. En: Ministerio de Cultura, Dirección General de Bellas Artes y Archivos (eds.). *Estudios físico-químicos sobre la Cueva de Altamira*, 9, 45-66.
- Wilkening, M.H. y O.E. Watkins. 1976. Air exchange and Rn^{222} concentrations in the Carlsbad caverns. *Health Physics*, 31, 39-145.