

# ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE MUESTREO DE RADÓN EN AGUA



**AINA NOVERQUES MEDINA**

Técnico Superior de Investigación  
Instituto de Seguridad Industrial,  
Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM)  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**BELÉN JEANNE JUSTE VIDAL**

Instituto de Seguridad Industrial,  
Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM)  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**MARÍA PINO SANCHO FERNÁNDEZ**

Instituto de Seguridad Industrial,  
Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM)  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**GUMERSINDO VERDÚ MARTÍN**

Instituto de Seguridad Industrial,  
Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM)  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Considerado como elemento cancerígeno, el gas radón supone casi el 50 % de la radiación total a la que están expuestas las personas durante un año [1,2]. Su naturaleza gaseosa le confiere una gran facilidad para su difusión y transporte desde su fuente de origen, tendiendo a acumularse en espacios cerrados con poca ventilación. Se genera de manera natural en suelos, según su contenido en uranio y radio; en agua, cuando el radio disuelto en los sedimentos es transportado desde las corrientes subterráneas; o en ciertos materiales de construcción que contienen trazas de radio.

A nivel nacional, diversos grupos de investigación centran sus estudios en analizar las concentraciones de radón en aire en lugares de trabajo [3, 4] o correlacionan las concentraciones medidas con las características geológicas de la zona [5, 6]. Asimismo, y dado el reciente aumento de balnearios en España, se han incrementado también las mediciones de radiactividad en agua y en aire [7, 8]. Se observa que, pese a disponer de niveles de radón en agua por debajo del límite establecido para agua de consumo humano [9], los niveles de radón en aire pueden superar el límite legislativo [10] y que, por tanto, esa agua es una fuente importante de liberación de  $^{222}\text{Rn}$  [6].

Sin embargo, no solo es importante realizar medidas in situ y de diagnóstico de radón en aire, en agua o a partir de ciertos materiales de construcción, sino que es imprescindible conocer el comportamiento del gas radón en estos medios. Analizar cómo se produce la liberación desde la fuente de origen hasta el aire, qué proceso de transporte rige la emanación de gas radón desde suelos o cómo se produce la transferencia y liberación del  $^{222}\text{Rn}$  desde el agua hasta el aire, permitirá un control y mitigación más eficiente.

La elevada variabilidad del gas radón, estacional y diaria, [11], la dificultad para analizar de forma simultánea su concentración en agua y en aire, así como su transferencia de un medio a otro en instalaciones reales (cuevas, lagos, depuradoras, etc.), implica la necesidad de desarrollar previamente un protocolo de medida a escala laboratorio. Esto permitirá reproducir situaciones en las que el gas radón se libera desde el agua y se difunde en el aire variando algunas condiciones de ensayo (relación de volumen agua-aire, estado del agua, etc.). Se necesita, por tanto, como paso previo, una puesta a punto del equipo experimental a utilizar que permita analizar los procesos de transferencia del radón.

En este contexto, el objetivo principal de esta investigación es mostrar parte de esa puesta a punto del proceso experimental. Concretamente, se analiza el método de extracción de las muestras de agua, así como la homogeneidad del gas en el medio acuoso.

## METODOLOGÍA

Los ensayos experimentales llevados a cabo se realizan en un depósito de 120 L de capacidad de polietileno de alta densidad, impermeable al gas radón. Se rellena con 50 L de agua libre de radón y se sumerge en ella una fuente de radio, que permite el enriquecimiento y la acumulación del  $^{222}\text{Rn}$  en el medio acuoso.

En los dos ensayos llevados a cabo en esta investigación, la concentración de radón en agua se analiza mediante el detector de centelleo líquido Hidex 600 SL [12]. El principio de funcionamiento de este detector se basa en la propiedad que tiene algunos compuestos de emitir luz cuando son

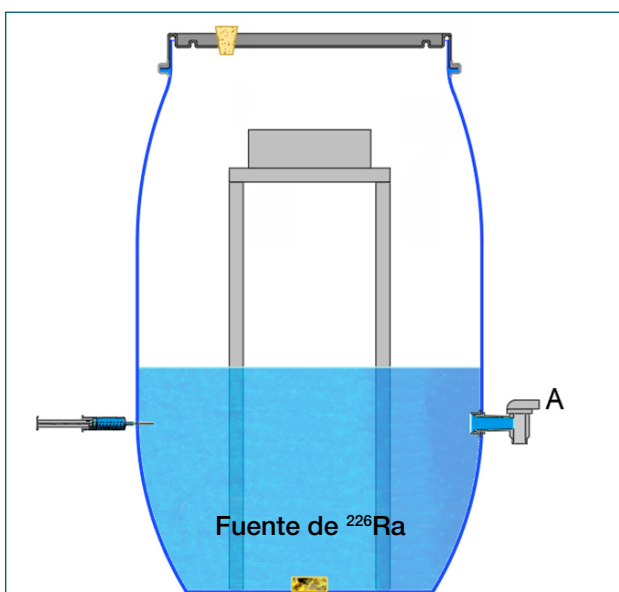
atravesados por la radiación. Es decir, mide la luz de baja intensidad que se produce cuando la muestra de agua se mezcla con el líquido de centelleo. Esta luz se recoge en los fotocatodos de los tubos fotomultiplicadores (PMT) y se transforma en señal eléctrica, en forma de espectro. En todos los ensayos llevados a cabo, se utilizan 8 mL de agua y se mezclan con el líquido de centelleo. Se agita durante 1-2 minutos para que ambos compuestos estén en una misma fase y se espera 3 horas, tiempo necesario para que el radón alcance el equilibrio con sus descendientes.

En esta parte de la investigación se analizan dos métodos de extracción de las muestras de agua en el interior del depósito y se selecciona el más adecuado, tanto a partir de los resultados obtenidos como a partir de criterios operativos y de funcionalidad [13]. Posteriormente, para garantizar que, independientemente de la distancia desde el punto de muestreo hasta la fuente de radón, la concentración en agua es la misma, se analiza su distribución en el medio acuoso. Esta homogeneidad se determina mediante la extracción de muestras a dos alturas diferentes. La metodología y el procedimiento seguido en cada ensayo se detallan a continuación.

### A) Análisis del método de extracción de las muestras de agua

En este ensayo se analiza cuál es el método de extracción de las muestras de agua con el objetivo de minimizar las posibles pérdidas de radón y seleccionar el más adecuado para la puesta a punto de los ensayos experimentales de transferencia agua-aire.

A partir de la bibliografía revisada se han seleccionado dos métodos de muestreo de agua: un grifo y una jeringa, ambos instalados a una altura de 240 mm sobre la base del depósito. Los ensayos se llevan a cabo en una única fase de enriquecimiento (aumento de la concentración de radón en el agua), cuando la fuente de radio está sumergida en la misma, tal y como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Diagrama del depósito para el análisis del método de extracción de agua [13].

La extracción de agua a través del grifo se basa en recogerla en un vaso de precipitados, desde donde se pipetea 8 mL para su posterior inserción en el seno del líquido de centelleo. Mediante la jeringa, insertada en el depósito de polietileno, se extraen directamente los 8 mL de muestra de agua, sin necesidad de utilizar pasos intermedios como el vaso de precipitados, y se insertan también en el líquido de centelleo. En ambos casos, se agita la mezcla agua-líquido de centelleo durante 1-2 minutos y se espera 3 horas antes de su medición, para que el radón y sus descendientes alcancen el equilibrio.

La dispersión de los resultados obtenidos de la extracción de agua mediante grifo y mediante jeringa se analiza a través del cálculo del sesgo, así como de un factor de ratio, según se muestra en la ecuación (1)

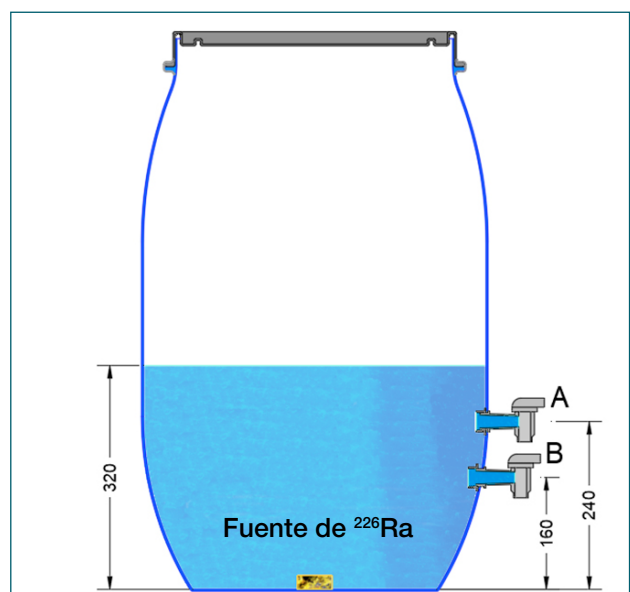
$$\text{Ratio método extracción} = \frac{\text{Concentración Rn medida en jeringa}}{\text{Concentración Rn medida en grifo}} \quad (1)$$

### B) Análisis de la homogeneidad del gas radón en agua

El procedimiento experimental se basa en instalar dos grifos a diferentes alturas para verificar si el gas radón se distribuye de forma homogénea en el agua en el interior del equipo experimental. El primer grifo, A, se encuentra a una altura de 24 cm sobre la base del tanque y el grifo B a 16 cm, ambos situados en una misma línea vertical, tal y como se muestra en la Figura 2.

En el muestreo se extrae agua a través de cada grifo y se recoge en un vaso de precipitados desde donde se pipetea los 8 mL que se mezclarán con los 12 mL de líquido de centelleo. De forma análoga al caso anterior, se agita y se espera 3 horas hasta que se alcance el equilibrio entre el radón y sus descendientes.

Los ensayos experimentales se han dividido en dos etapas, de 13 y 4 días respectivamente. En la etapa inicial, la fuente de radio está sumergida en el agua y se produce



**Figura 2.** Diagrama del depósito para el análisis de la homogeneidad del gas radón en agua [13].

el enriquecimiento del medio acuoso y, por tanto, la acumulación de radón. En la segunda etapa se ha extraído la fuente de radio y únicamente se analiza el decaimiento del gas radón en el agua.

Para analizar la dispersión de gas radón de los resultados de concentración obtenidos a través de cada grifo, se ha calculado la ratio según la ecuación (2):

$$\text{Ratio grifos} = \frac{\text{Concentración Rn medida en grifo A}}{\text{Concentración Rn medida en grifo B}} \quad (2)$$

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos para el análisis de la puesta a punto de los ensayos de transferencia de radón a través del agua se muestran a continuación.

### A) Análisis del método de extracción de las muestras de agua

Los resultados de concentración de radón en agua obtenidos mediante la extracción a través del grifo y de la jeringa, así como la ratio calculada, se muestran en la Figura 3.

Según se observa en la Figura 3, inicialmente, la concentración de radón es prácticamente cero, como cabría esperar para agua de grifo en la Comunitat Valenciana [3]. Se produce un enriquecimiento y acumulación de radón en el agua hasta una concentración de  $271.79 \pm 27.20 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  para el grifo y  $309.89 \pm 30.91 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  para la jeringa.

Para concentraciones de radón en agua relativamente bajas, ambos métodos de extracción ofrecen resultados similares, con sesgo inferior al 1 % que se ve incrementado según transcurre el tiempo de ensayo, hasta situarse por debajo del 25 % en valor promedio. Tal y como se observa en la Figura 3 (A) las concentraciones medidas con jeringa, son ligeramente superiores debido a que, en este caso, el agua se extrae directamente del depósito y se inyecta en el vial del líquido de centelleo; mientras que, si la extracción se realiza a través del grifo, existe un mayor burbujeo del agua cuando esta se recoge en el vaso de precipitados. Cuanto mayor sea la agitación y/o burbujeo del medio acuoso, ma-

yores pérdidas de radón puede haber [14, 15]. En el proceso de inyección de la muestra de agua al vial de teflón, en ambos casos, las pérdidas de gas se han considerado nulas.

Se ha calculado la ratio, según la Ecuación (1), que oscila entre 0.87 y 1.33 tal y como se observa en la Figura 3 (B). Estos valores se encuentran dentro del rango considerado como aceptable, validando también los sesgos calculados. Los resultados obtenidos validan ambos métodos como sistemas de extracción de muestras de agua a escala laboratorio para el equipo experimental diseñado.

A nivel operativo, y debido a las obstrucciones que podía sufrir la jeringa en su inserción en el depósito se ha seleccionado como método de extracción el grifo.

### B) Análisis de la homogeneidad del gas radón en agua

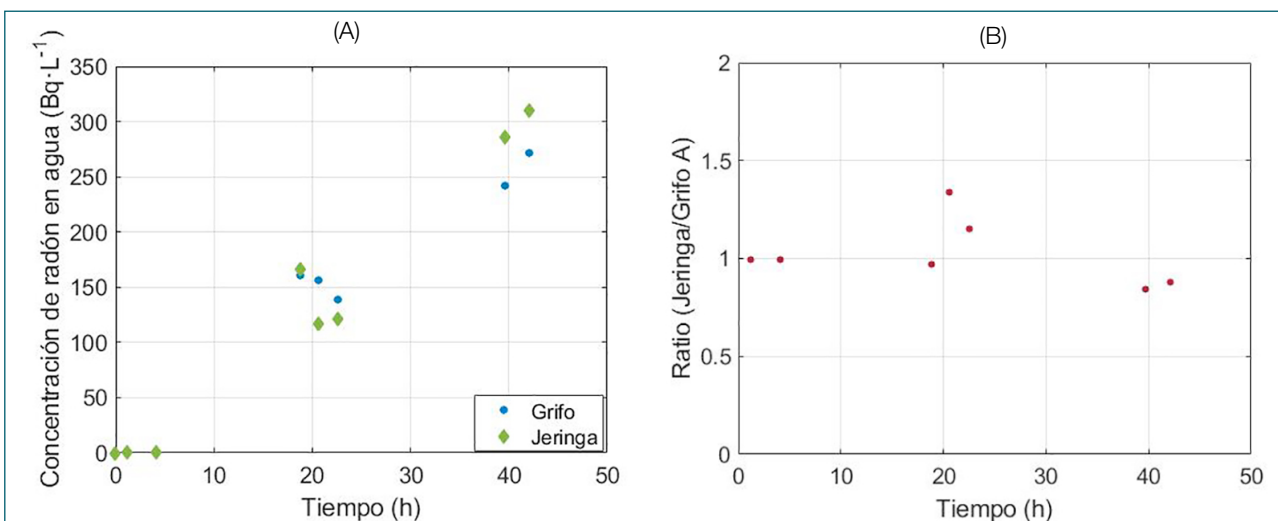
Los resultados de concentración de radón en agua obtenidos mediante el muestreo en ambos grifos, así como la ratio calculada se muestran en la Figura 4.

Tal y como se observa en la Figura 4 (A), y debido al efecto de la fuente de radio sumergida en el agua, se produce un enriquecimiento del medio acuoso.

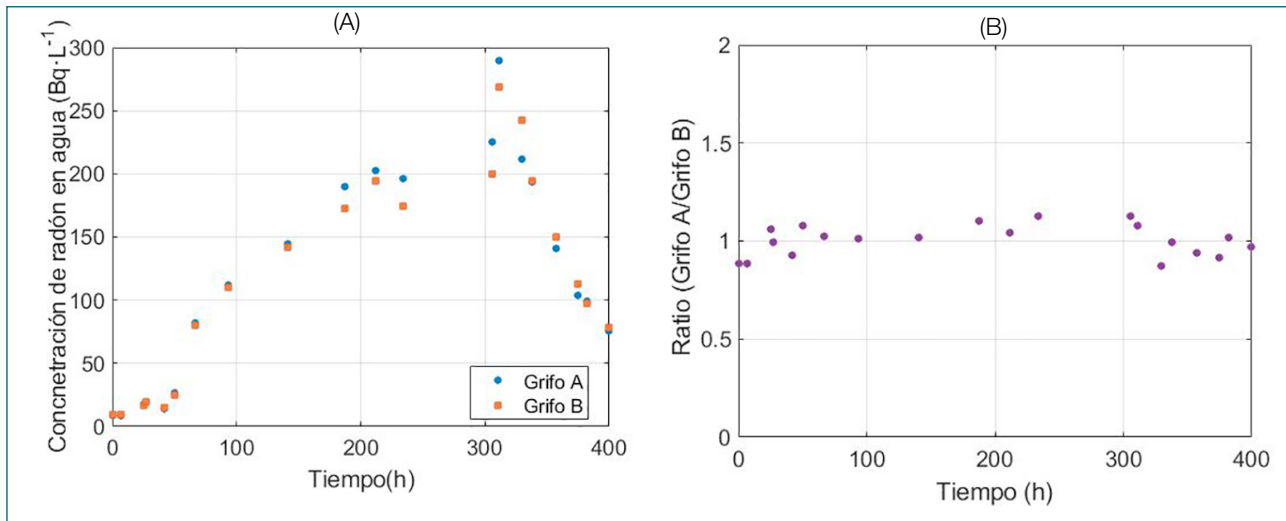
La concentración varía desde los  $8.18 \pm 0.82 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  hasta  $225.07 \pm 22.5 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  medida a través del grifo A; y desde  $9.24 \pm 0.92 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  hasta los  $200.26 \pm 20.02 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  en el grifo B, en 306 horas de ensayo.

Posteriormente, se retira la fuente y, por tanto, cesa el enriquecimiento. La concentración decae hasta los  $75.70 \pm 7.60 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  (grifo A) y  $78.95 \pm 7.90 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  (grifo B), después de 94 horas de ensayo.

Analizando el sesgo de la concentración de radón en agua medida a ambas alturas, tomando como referencia la altura de 240 mm (grifo A) se observa que este es inferior al 7 % hasta las 187 horas de ensayo. Posteriormente y hasta las 360 horas, esta dispersión aumenta ligeramente en un rango entre 9 y 14 %. Mientras que, posteriormente y hasta finalizar el ensayo, vuelve a disminuir en valor promedio hasta valores inferiores al 10 %. Estas variaciones se en-



**Figura 3.** (A) Concentración de radón en agua muestreados a través del grifo y de la jeringa. (B) Ratio de la concentración de radón en agua para ambos métodos de extracción.



**Figura 4.** (A) Concentración de radón en agua medida en grifo A y grifo B. (B) Ratio de la concentración de radón en agua para ambos grifos.

cuentran dentro de los rangos de incertidumbre de medida asociadas al propio detector por lo que se han considerado aceptables.

Asimismo, la ratio calculada según la Ecuación (2) que se muestra en la Figura 2 (B) oscila en torno a la unidad, 0.88 y 1.12, para todos los tiempos de muestreo. Estos valores verifican que las concentraciones de radón en agua medidas a las dos alturas son similares y que, por tanto, la distribución de radón en el interior del equipo experimental puede considerarse homogénea.

Los resultados obtenidos en este bloque de ensayos validan la homogeneidad del gas radón en el medio acuoso y la utilización, indistintamente, de ambos grifos como puntos de extracción de agua. A efectos prácticos, y para una mayor comodidad en el muestreo, se selecciona el grifo A, situado a 240 mm de la base.

## CONCLUSIONES

En esta parte de la investigación se ha determinado parte de la puesta a punto de los ensayos de transferencia agua-aire mediante el análisis del método de extracción de las muestras de agua óptimo y de la distribución del radón en el agua contenida en el equipo experimental.

La dispersión de las concentraciones de radón en agua medidas mediante la extracción de muestras a través del grifo y la jeringa, así como la ratio calculada ofrecen valores situados entre los rangos aceptables. Por ello, se valida la utilización de ambas técnicas de manera indistinta.

Asimismo, la concentración de radón en agua medida a ambas alturas presenta valores muy similares, con una dispersión de resultados y una ratio calculada que también se encuentran en el rango considerado como aceptable. Se valida así la distribución homogénea del gas radón en el agua en el interior del depósito.

A efectos prácticos, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se selecciona como método de extracción el grifo A, situado a una altura de 240 mm, frente al uso de la jeringa o del grifo a 160 mm.

## REFERENCIAS

- [1]. Cancio Pérez, D. (2010). Impacto radiológico de las fuentes naturales y artificiales de radiación. El informe UNSCEAR 2008. *Nucleus*, (48), 3-9.
- [2]. Zeeb, H., & Shannoun, F. (2015). Manual de la OMS Sobre el Radón en Interiores: Una perspectiva de salud Pública.
- [3]. Font, L., Baixeras, C., & Moreno, V. (2008). Indoor radon levels in underground workplaces of Catalonia, Spain. *Radiation Measurements*, 43, S467-S470
- [4]. Ruano-Ravina, A., Quindós-Poncela, L., Sainz Fernández, C., & Barros-Dios, J. M. (2014). Radón interior y salud pública en España: tiempo para la acción. *Gaceta Sanitaria*, 28, 439-441.
- [5]. Moreno, V., Baixeras, C., Font, L., & Bach, J. (2008). Indoor radon levels and their dynamics in relation with the geological characteristics of La Garrotxa, Spain. *Radiation Measurements*, 43(9-10), 1532-1540.
- [6]. Moreno, V., Bach, J., Baixeras, C., & Font, L. (2014). Radon levels in groundwaters and natural radioactivity in soils of the volcanic region of La Garrotxa, Spain. *Journal of environmental radioactivity*, 128, 1-8.
- [7]. Soto, J., Fernandez, P. L., Quindos, L. S., & Gomez-Arozamena, J. (1995). Radioactivity in Spanish spas. *Science of the total environment*, 162(2-3), 187-192.
- [8]. Ródenas, C., Gómez, J., Soto, J., & Maraver, F. (2008). Natural radioactivity of spring water used as spas in Spain. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 277(3), 625-630.
- [9]. Real Decreto 314/2016, de 29 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- [10]. Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación.
- [11]. Siino, M., Scudero, S., Cannelli, V., Piersanti, A., & D'Alessandro, A. (2019). Multiple seasonality in soil radon time series. *Scientific reports*, 9(1), 1-13.
- [12]. User Manual Hidex 600 SL (2021). Hidex Oy.
- [13]. Noverques Medina, A. (2022). Estudio del comportamiento del gas radón (<sup>222</sup>Rn) en los procesos de transferencia en agua y en aire (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- [14]. Jobbágy, V., Stroh, H., Marissens, G., & Hult, M. (2019). Comprehensive study on the technical aspects of sampling, transporting and measuring radon-in-water. *Journal of environmental radioactivity*, 197, 30-38.
- [15]. Gruber, V., Maringer, F. J., & Landstetter, C. (2009). Radon and other natural radionuclides in drinking water in Austria: measurement and assessment. *Applied radiation and isotopes*, 67(5), 913-917. ■