



RESUMEN DE LA TESIS DOCTORAL

DATOS DEL/ DE LA DOCTORANDO/A:

Apellidos y nombre: Gutiérrez, Isidoro		NIF/ Pasaporte: [REDACTED]	Nacionalidad: [REDACTED]
Dirección a efectos de notificaciones: [REDACTED]			
Teléfono: [REDACTED]		EMAIL: [REDACTED]	
[REDACTED]			

DATOS DE LA TESIS DOCTORAL:

Título: Estudio de la tasa de exhalación de radón y su influencia en la concentración de radón ambiental en la ciudad de Huelva
Programa Oficial de Doctorado al que se adscribe: Ciencia y Tecnología Industrial y Ambiental
Departamento: Ciencias Integradas
Director/es: Dr./Dra.: Juan Pedro Bolívar Raya ORCID: 0000-0001-9258-6341 Dr./Dra.: José Enrique Martín Domínguez ORCID: 0000-0002-8896-0916 Dr./Dra.: José Antonio Adame Carnero ORCID: 0000-0002-6302-7193

Resumen en **castellano** que será usado para la base de datos del Ministerio TESEO (máx. 4000 caracteres)

Según el Comité de las Naciones Unidas frente a las Radiaciones Ionizantes (UNSCEAR), el gas radón es responsable del 42% de la dosis de radiación total procedente de fuentes naturales. Su isótopo más común, ^{222}Rn , se emite desde materiales con alto contenido de radio, como es el caso del residuo fosfoyeso (FY), generado en la producción de ácido fosfórico. Este material contiene altas concentraciones de radio (unas 20 veces las de un suelo no contaminado), y es una fuente potencial de radón. A menos de 1 km de la ciudad de Huelva se encuentra un depósito de fosfoyeso de 1000 ha, área similar a la zona urbana. El objetivo de esta tesis doctoral ha sido desarrollar un método adecuado para la medida de exhalación de radón en fosfoyesos, y posteriormente analizar sus concentraciones en el aire atmosférico de Huelva.

En primer lugar, se estudió la exhalación de radón en fosfoyeso mediante dos cámaras de exhalación de referencia construidas con este material. El diseño permite cerrar la cámara y medir su exhalación sin modificar la capa emisora. Se estudió el rendimiento del método de medida de exhalación por acumulación en circuito cerrado y los ajustes lineal y exponencial a la curva de acumulación, utilizando diferentes equipos de medida y cámaras de acumulación. Aunque la aproximación lineal se emplea rutinariamente en la literatura, la constante de tiempo efectiva del sistema no siempre es adecuada para aplicar esta aproximación, subestimando significativamente la tasa de exhalación. Para extender la aplicabilidad del ajuste lineal se estudió la influencia del transporte lateral utilizando seis cámaras de acumulación cilíndricas que permitían aumentar la profundidad de inserción de la cámara en el suelo, demostrándose que la profundidad de inserción reduce la constante efectiva del sistema. Este resultado aumenta el intervalo de aplicabilidad del ajuste lineal, obteniendo medidas de exhalación fiables una vez que se ha alcanzado una profundidad de inserción de 6 cm. Estos resultados fueron verificados in situ con experimentos llevados a cabo en el depósito de fosfoyeso.

En segundo lugar, se midieron las concentraciones atmosféricas de radón en Huelva con dos estaciones de medida ubicadas a ambos lados del repositorio. La primera estación se instaló en el campus universitario de El Carmen, al norte del repositorio, y una segunda estación, La Rábida, ubicada al sur del repositorio. Las mediciones tomadas en la primera estación entre marzo de 2015 y marzo de 2016, se utilizaron para estudiar la evolución diaria del radón usando técnicas de clusterización. Se observaron curvas diarias típicas con variaciones estacionales, con máximos entre las 06:00 y 08:00 UTC (Tiempo Universal Coordinado) y mínimos alrededor del mediodía. Los valores medios estacionales oscilaron entre 5,6 y 10,9 Bq m⁻³ y los máximos entre 36,4 y 53,4 Bq m⁻³. Se analizaron cuatro eventos utilizando medidas locales de variables meteorológicas y simulaciones atmosféricas mediante los modelos HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) y WRF (Weather Research and Forecasting). Los resultados obtenidos indicaron que la contribución de fuentes de larga distancia puede tener un impacto significativo en los eventos radón alto. Las mediciones combinadas de las estaciones de La Rábida y El Carmen durante el año 2018 se utilizaron para estudiar el transporte local desde el repositorio. Se emplearon algoritmos de clusterización para identificar patrones diarios de radón, encontrando diferencias entre estaciones y una mayor ocurrencia de



clústeres de radón alto en la estación de El Carmen. Las simulaciones atmosféricas con WRF se utilizaron como datos de entrada para el modelo de transporte lagrangiano FLEXPART (FLEXible TRAjectory Model). Este estudio sugirió que la estación de El Carmen se ve afectada principalmente por la difusión de radón desde el repositorio, mientras que el principal mecanismo de transporte en La Rábida es el transporte directo.

Resumen en **inglés** que será usado para la base de datos del Ministerio TESEO (máx. 4000 caracteres)

According to United Nations Committee on Ionizing Radiation (UNSCEAR), radon gas is responsible for 42 % of the dose from natural radiation sources. The most common radon isotope, ^{222}Rn , is emitted from materials with a high radium content such as phosphogypsum (PG), a residue generated in the production of phosphoric acid. This material contains high concentrations of radium (about 20 times that of uncontaminated soil) and is a potential radon source. In the city of Huelva, a phosphogypsum repository with 1000 ha, similar to the city area, is located less than 1 km from the city. The objective of this doctoral thesis was to improve radon exhalation methods and analyze radon atmospheric concentrations in Huelva.

Firstly, to study radon exhalation from phosphogypsum, two reference exhalation chambers were made with a layer of this material. Its design allowed to close the box and measure its exhalation without perturbing the emitting layer. The performance of the closed-circuit accumulation chamber technique and the exponential and linear radon exhalation fitting methods was studied using different measurement devices and accumulation chambers. Although the linear approximation is routinely employed in the literature, the effective time constant of the measurement system is often not adequate to apply this approximation, leading to significative underestimations of the exhalation. To extend the applicability of the linear fit, the influence of lateral transport was studied using six cylindrical accumulation chambers that allowed to increase the insertion depth in the soil, showing that increasing the insertion depth effectively reduced the effective decay constant of the measurement system. This result increases the range of applicability of the linear fit, obtaining reliable exhalation measurements once a minimum insertion depth of 6 cm was used. These results were verified on measurements carried out on the phosphogypsum repository.

Secondly, radon atmospheric activity concentration was measured in Huelva at two stations located at both sides of the repository. The first station was installed on El Carmen university campus, to the north of the phosphogypsum piles the second station, La Rabida, is located to the south of the repository. Measurements taken on the first station between March 2015 and March 2016 were used to study the general radon daily behavior using clustering algorithms. Typical daily curves with seasonal variations were observed, with maximums between 06:00 and 08:00 UTC (Coordinated Universal Time) and minimums around noon. The mean seasonal values oscillated between 5.6 and 10.9 Bq m⁻³ and maximum ranged between 36.4 and 53.4 Bq m⁻³. Four events were analyzed using local meteorology measurements and atmospheric modelling obtained with HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) and WRF (Weather Research and Forecasting) models. These results suggested that contribution from long-distance sources may have a significant impact on high radon events in the area. The combined measurements of La Rabida and El Carmen stations during the year 2018 were used to study local transport from the repository. Hierarchical clustering identified daily radon patterns, finding differences between stations and a higher occurrence of high radon clusters in El Carmen station. Atmospheric WRF simulations were used as an input for lagrangian transport model FLEXPART (FLEXible TRAjectory Model). This study suggested that El Carmen station was influenced by radon diffusion from the repository while La Rabida station was only affected by direct radon transport.

Palabras claves en **castellano** que deben coincidir con las enviadas a la base de datos TESEO (máx. 5 descriptores o palabras claves, separadas por coma)

Radon, Exhalación de radón, cámara de acumulación, WRF, FLEXPART

Palabras claves en **inglés** que deben coincidir con las enviadas a la base de datos TESEO (máx. 5 descriptores o palabras claves, separadas por coma)

Radon, radon exhalation, accumulation chamber, WRF, FLEXPART

Materias UNESCO (seleccione, picando en [+], alguno de los campos, disciplinas o subdisciplinas que aparecen en la siguiente url: <http://rabida.uhu.es/dspace/page/unesco>)

2501.09 Radiactividad Atmosférica, 2501.06 Dinámica Atmosférica, 2501.16 Difusión (Atmosférica), 2501.21 Simulación Numérica, 2509.02 Contaminación Atmosférica

¿TESIS POR COMPENDIO DE PUBLICACIONES?



Algunas publicaciones, por respeto a los posibles conflictos de propiedad intelectual relativos a su difusión, serán sustituidas por referencia, resumen y DOI o enlace al artículo.



Trabajos actualmente publicados:

- 1) 2018. *Radon behavior investigation based on cluster analysis and atmospheric modelling*. Atmospheric Environment (Q1) 10.1016/j.atmosenv.2018.12.010
- 2) 2020. *Applicability of the closed-circuit accumulation chamber technique to measure radon surface exhalation rate*. Radiation Measurements (Q2). 10.1016/j.radmeas.2020.106284
- 3) 2020. *Influence of the accumulation chamber insertion depth to measure surface radon exhalation rates*. Journal of Hazardous Materials (Q1) 10.1016/j.jhazmat.2020.122344

En Huelva,
Firma del interesado

Fdo. Isidoro Gutiérrez Álvarez