

## Utilización del método de carbón activo para medidas rápidas de radón en viviendas

## Utilização do método de carvão ativado para medições rápidas de radão em habitações

## Use of The Activated Carbon Method for Quick Radon Measurements in Dwellings

María Elena Veiga Ochoa, Laura Sánchez Ramos, Iván Panero Frade

Centro Nacional de Sanidad Ambiental, Instituto de Salud Carlos III, Madrid. España.

**Cita:** Veiga Ochoa ME, Sánchez Ramos L, Panero Frade I. Utilización del método de carbón activo para medidas rápidas de radón en viviendas. Rev. Salud ambient. 2022; 22(2):143-149.

**Recibido:** 4 de mayo de 2022. **Aceptado:** 31 de agosto de 2022. **Publicado:** 15 de diciembre de 2022.

**Autor para correspondencia:** María Elena Veiga Ochoa.

Correo e: [eveiga@isciii.es](mailto:eveiga@isciii.es)

Centro Nacional de Sanidad Ambiental, Instituto de Salud Carlos III, Madrid. España.

**Financiación:** No se ha contado con financiación para el desarrollo de este trabajo.

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que hayan influido en la realización y preparación de este trabajo.

**Declaraciones de autoría:** Todos los autores contribuyeron al diseño del estudio y la redacción del artículo. Asimismo, todos los autores aprobaron la versión final.

Presentado como comunicación en el XV Congreso Español y V Congreso Iberoamericano de la Salud Ambiental, celebrado en Valencia los días 22-24 de mayo de 2019, obtuvo el premio a la mejor comunicación de la Comunidad de Madrid otorgado por el Colegio Oficial de Farmacéuticos de Madrid.

### Resumen

La exposición a radón en interiores es la segunda causa de cáncer de pulmón después del tabaco. La determinación de la concentración de radón en viviendas de la ciudad de Madrid, mediante un método rápido y económico como son las sondas de carbón activo, permite adquirir una información al respecto para considerar si es de interés un estudio más pormenorizado de la zona. En lo que respecta a los resultados obtenidos, entre el 13 % y el 15 % de las viviendas, superan el límite recomendado por la OMS, y considerando además el estrato geológico que presenta la ciudad de Madrid, es recomendable ampliar el estudio de la determinación de radón en las viviendas de la ciudad.

**Palabras clave:** radón; calidad del aire; radionucleido; radiactividad.

### Resumo

A exposição a radão em interiores é a segunda causa de cancro do pulmão a seguir ao tabaco. A determinação da concentração de radão em habitações da cidade de Madrid, através de um método rápido e económico como são as sondas de carvão ativado, permite adquirir informações sobre a situação para avaliar se há interesse num estudo mais detalhado da área. Em relação aos resultados obtidos, entre 13 % e 15 % das habitações excedem o limite recomendado pela OMS e, considerando o estrato geológico que a cidade de Madrid apresenta, é aconselhável ampliar o estudo da determinação do radão nas habitações da cidade.

**Palavras-chave:** iradão; qualidade do ar; radionuclídeo; radiatividade.

## Abstract

Indoor radon exposure is the second leading cause of lung cancer after smoking. The determination of the concentration of radon in dwellings in the city of Madrid by means of a quick, inexpensive method, such as by means of activated carbon probes, makes it possible to collect information on the matter in order to determine whether a more detailed study of the area should be conducted. As far as the results that were obtained are concerned, between 13 % and 15 % of the dwellings exceeded the limit recommended by the WHO. Thus, it is advisable, bearing in mind the geological stratum of the city of Madrid, to expand the study for the determination of the presence of radon in the city's dwellings.

**Keywords:** radon; air quality; radionuclide; radioactivity.

## INTRODUCCIÓN

La exposición del ser humano a la radiación natural supone el ochenta por ciento sobre el total de la exposición a radiaciones ionizantes, y la fuente más importante de radiación natural es el radón y sus descendientes de vida corta<sup>1,2</sup>. El radón es un gas radiactivo natural procedente de las cadenas de desintegración de <sup>235</sup>U, <sup>238</sup>U y <sup>232</sup>Th y, por tanto, está presente en la naturaleza, emana de rocas y suelos y se libera a la atmósfera por difusión molecular<sup>3</sup>, pudiendo acumularse en el interior de espacios cerrados.

La inhalación de los productos de descomposición de <sup>222</sup>Rn, isótopo que existe en más concentración y al que denominamos habitualmente radón, y su posterior deposición a lo largo de las paredes de las diferentes vías respiratorias del árbol bronquial supone el principal riesgo clínico. Prácticamente todo el radón inhalado es exhalado, pero los descendientes de vida corta pueden depositarse en el tracto respiratorio, en las cavidades nasales, paredes de los bronquios y dentro del pulmón, pudiendo agravar una enfermedad tan extendida como es la EPOC<sup>4,5</sup>. Entre los descendientes del radón de vida corta están el <sup>214</sup>Po y <sup>218</sup>Po, que emiten partículas alfa y la energía que liberan es el principal contribuyente de exposición a radiación que puede provocar efectos para la salud<sup>6</sup>.

La OMS afirma la existencia de una asociación entre la exposición a radón en interiores y el cáncer de pulmón, y ofrece como propuesta a la normativa establecer un nivel de referencia medio anual nacional de 100 Bq/m<sup>3</sup> y en todo caso no superar los 300 Bq/m<sup>3</sup> que equivalen a una dosis de 10 mSv anuales<sup>7</sup>. Estudios de caso control en Estados Unidos indican que el riesgo de padecer cáncer de pulmón aumenta un 11 % con cada aumento de 100 Bq/m<sup>3</sup> en la concentración de radón existente en la vivienda habitual, si bien un estudio agrupado europeo estima que tal riesgo aumenta en un 16 % al mismo incremento<sup>8</sup> y aproximadamente una de cada 15 viviendas en Estados Unidos presentan niveles de radón superiores a 148 Bq/m<sup>3,9,10</sup>. Estudios epidemiológicos en

mineros suministran la base actual para estimar el riesgo de padecer cáncer de pulmón por la exposición a radón y a sus descendientes<sup>11</sup>.

El control de la exposición obliga a efectuar medidas de radón con el objetivo de reducir dichas concentraciones, como resulta de la Directiva 2013/51/EURATOM, del Consejo, de 22 de octubre de 2013<sup>12</sup>.

El gas radón no representa un problema en la atmósfera libre porque se diluye rápidamente, está en concentraciones muy bajas, de hecho, su concentración varía de 5 Bq/m<sup>3</sup> a 15 Bq/m<sup>3</sup>. Sin embargo, en espacios cerrados, las concentraciones de radón son más elevadas, en especial en lugares como minas, cuevas y plantas de tratamiento de aguas.

Existen zonas geográficas en las que, debido a su geología, es más probable localizar ambientes interiores con niveles elevados de presencia del gas. Con el fin de identificar las zonas o regiones geográficas en España, en 2013 se elaboró el mapa predictivo de exposición a radón<sup>13</sup>, donde a partir de la tasa de dosis de radiación gamma ambiental se clasifica el territorio nacional en tres categorías de exposición potencial a radón. Sin embargo, en ningún caso la información proporcionada por los mapas debe considerarse sustitutiva de las mediciones directas de la concentración de radón en el aire de la vivienda o el lugar de trabajo, que son el indicador más fiable del riesgo al que está expuesto cada individuo. La Comunidad de Madrid presenta una amplia zona clasificada dentro de la categoría máxima<sup>14</sup>.

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) ha elaborado, utilizando medidas de radón en viviendas, la tasa de exposición a radiación gamma y la información del mapa litoestratigráfico de España<sup>15</sup>, la cartografía del potencial de radón en España<sup>16</sup>. De esta forma se han considerado zonas de actuación prioritaria, aquellas en las que más de un 10 % de los edificios presenta, en la planta baja o primera, concentraciones superiores al nivel de referencia de 300 Bq/m<sup>3</sup>, conforme a la citada Directiva 2013/51/EURATOM<sup>12</sup>.

El Código Técnico de la Edificación establece en el Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre<sup>17</sup>, una clasificación de los términos municipales con probabilidad significativa de que los edificios allí construidos sin soluciones específicas de protección frente al radón presenten concentraciones de radón superiores al nivel de referencia. De esta forma se clasifican en municipios zona I y zona II, con menor y mayor probabilidad, respectivamente.

Algunos estudios de la concentración de radón en viviendas de Comunidades Autónomas de actuación prioritaria<sup>18</sup>, establecen una relación no solo con el tipo de suelo sino, además, con los materiales de construcción utilizados, el grado de ventilación y la evolución temporal y climatológica.

El objetivo del presente trabajo tiene por finalidad realizar la determinación de la concentración de radón en viviendas ubicadas en la ciudad de Madrid, con el fin de aportar conocimiento científico a los datos potenciales cartográficos no estudiados en la zona, utilizando un método rápido que sirva de *screening*.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El método de elección para realizar las medidas a corto plazo es el método de medida pasivo EPA 520/5-90-032, de la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (EPA)<sup>19</sup>, que utiliza sondas de carbón activo, por la propiedad que tiene el carbón activado de adsorber gases. La cantidad adsorbida de radón se mide a partir del equilibrio con su progenie de vida corta <sup>214</sup>Pb y <sup>214</sup>Bi.

Se ha utilizado para las medidas un espectrómetro gamma de 3X3 de NaI Canberra que está alojado en un blindaje de Pb de 10 cm de espesor y cubierto su interior por láminas de Cu y Cd. Lleva asociado un analizador multicanal y la electrónica correspondiente<sup>20</sup>. Para la medida de radón se seleccionan las regiones de interés que cubran la energía de emisión de los radionucleidos indicados, y que corresponden con las energías de 242, 295 y 352 keV para <sup>214</sup>Bi, y 609 keV para la línea de <sup>214</sup>Pb.

La eficiencia de calibración se calcula con una sonda de referencia de actividad conocida de <sup>226</sup>Ra, dispersa en el carbón vegetal, que se encuentra en equilibrio secular con <sup>214</sup>Pb y <sup>214</sup>Bi.

Las sondas de carbón activo se han expuesto en zonas utilizadas de forma habitual, de forma mayoritaria en salas de estar frente a dormitorios, durante un período de 48 a 60 horas manteniendo el recinto previamente cerrado y evitando corrientes de aire<sup>10</sup>. El método ofrece resultados de forma rápida y económica en menos de una semana, pudiéndose reutilizar las sondas después

de someterlas a una temperatura de 120 °C durante al menos 24 horas<sup>21</sup>.

Las medidas de este método se han validado al confrontarlas con medidas en continuo en una ubicación control, con medidas realizadas con una cámara de ionización<sup>22</sup>, Alphaguard PQ2000PRO<sup>23</sup>, que permite medida por difusión o flujo, con un rango de medida de 2 Bq/m<sup>3</sup> a 2 MBq/m<sup>3</sup>. Las medidas se realizan en modo difusión con registro de toma de datos cada diez minutos.

El método permite discriminar aquellas viviendas con concentraciones bajas y, por lo tanto, seleccionar aquellas con concentraciones por encima del valor de referencia de 100 Bq/m<sup>3</sup> recomendado por la OMS, con el fin de realizar nuevas medidas con métodos que integren los datos en períodos más largos, como son los detectores de trazas. Con este tipo de detectores que requieren un período mínimo de tres meses se puede evaluar, además, la exposición anual recibida. Para obtener una evaluación preliminar, las medidas por métodos pasivos y en continuo a corto plazo ofrecen resultados satisfactorios<sup>24</sup>.

En lo que respecta a la selección de las viviendas, se ha elegido la ciudad de Madrid<sup>25</sup> dada la ausencia de datos de exposición a radón y, por lo tanto, no estar clasificada entre las zonas potenciales de radón conforme al Código Técnico de Edificación.

En relación con el plan de muestreo, se han realizado medidas en 47 viviendas distribuidas a lo largo de la ciudad, figura 1, en un área que cubre la mitad del total del área metropolitana teniendo en cuenta que la zona norte que se corresponde con el distrito de El Pardo está escasamente habitada en razón a su protección ambiental. La densidad de medida en nuestro caso arroja 1 vivienda medida por cada 7 km<sup>2</sup> efectuadas en dos estaciones invierno (seca) y primavera (húmeda) y habitadas por al menos dos personas.

Dado que el radón emana principalmente del suelo, los lugares subterráneos se considerarían propensos a la acumulación de radón, y por tanto las viviendas situadas en plantas bajas serían más susceptibles de mayores concentraciones<sup>26</sup>. Sin embargo, las medidas se han realizado siguiendo una distribución aleatoria de alturas con el fin de confirmar que la concentración de radón disminuye al alejarse del terreno<sup>27</sup>, si bien es conocido que los niveles de radón dependen de la dinámica de difusión y acumulación que siga el gas en el interior de las viviendas.

## RESULTADOS

En lo que respecta a la calidad del método empleado, las medidas realizadas de la concentración de radón en

Figura 1. Distribución de las viviendas en el término municipal de Madrid

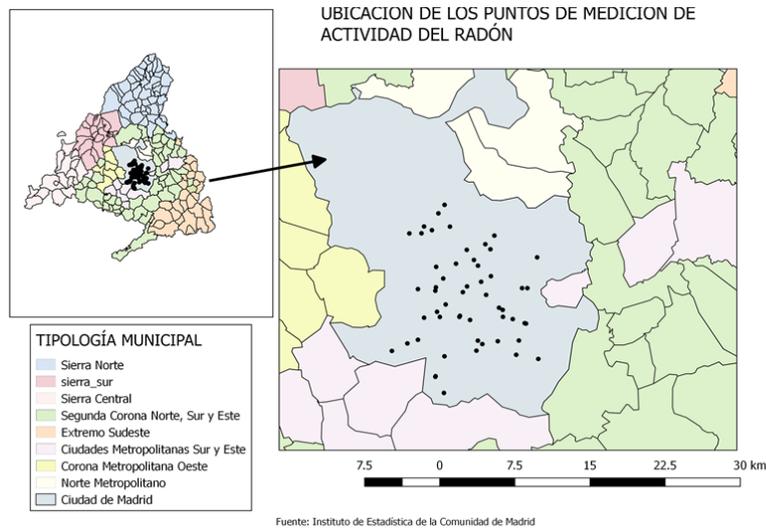
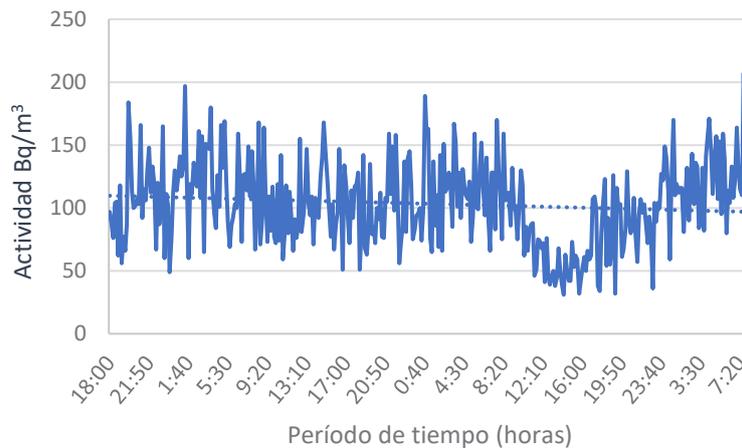


Figura 2. Medida en continuo de Radón con el equipo Alphaguard en la ubicación control



una ubicación considerada control con sondas de carbón activo, ofrecieron un valor de  $104,2 \pm 21$  Bq/m<sup>3</sup>, frente a las realizadas en el mismo período con una medida en continuo con un monitor Alphaguard fue de  $103 \pm 35$  Bq/m<sup>3</sup> (figura 2). Tales datos demuestran la validez del método empleado.

Con respecto a los resultados obtenidos, entre el 13 % y el 15 % de las viviendas, atendiendo a la estación de invierno y primavera, respectivamente, han superado el nivel de referencia recomendado por la OMS (100 Bq/m<sup>3</sup>) y únicamente una vivienda, en los dos períodos, ha superado el límite de 300 Bq/m<sup>3</sup> establecido en la Directiva. Se observa una tendencia al descenso de la concentración de radón en primavera, como se puede apreciar en la figura 3, excepto en una vivienda situada en planta baja.

Los datos estacionales obtenidos están acordes con la bibliografía<sup>28</sup>.

La distribución de las medidas efectuadas se representa en los intervalos de actividad, esto es, menor de 50, de 50 a 100, de 100 a 300 y mayor de 300, todos ellos expresados en Bq/m<sup>3</sup>, conforme a las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica<sup>6</sup> (figura 4).

Los resultados obtenidos en las viviendas en función de la altura de edificabilidad se observan en la figura 5, y se confirma que las viviendas con los niveles más altos son las situadas en pisos bajos, con concentraciones, algunas de ellas, superiores a 300 Bq/m<sup>3</sup>.

Figura 3. Resultados de la concentración de radón obtenidos en invierno y primavera en viviendas de la ciudad de Madrid

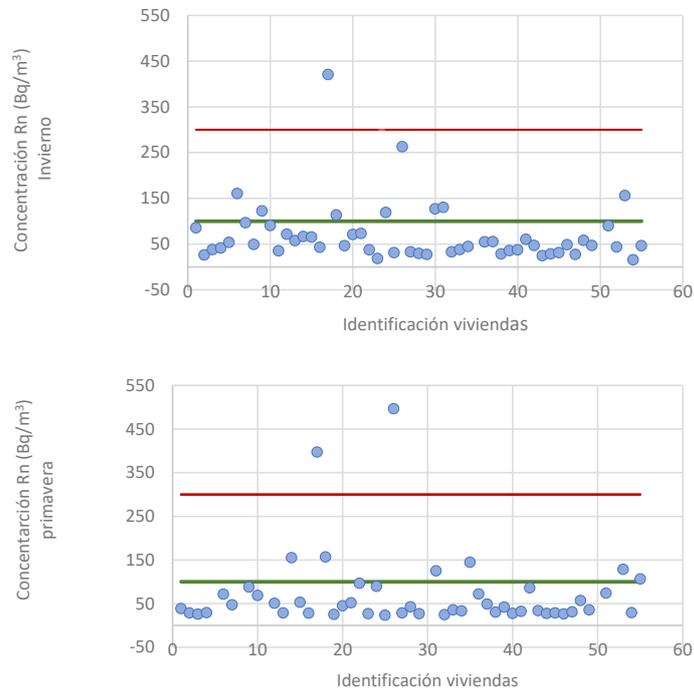


Figura 4. Representación de los resultados de radón en la ciudad de Madrid (invierno y primavera)

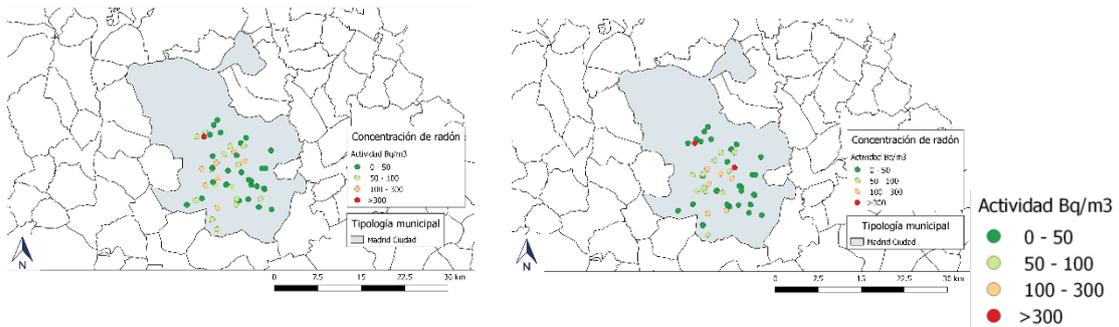
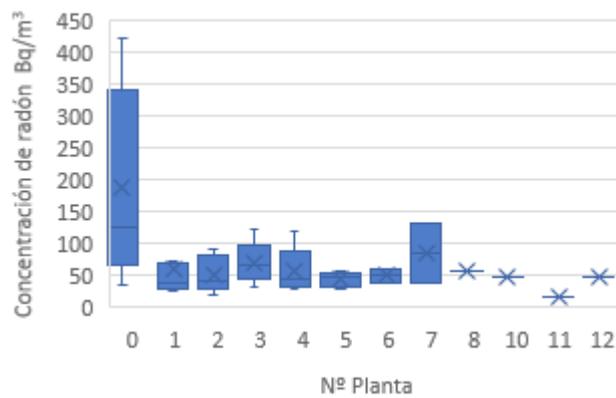


Figura 5. Resultados de la concentración de radón en función de la altura de edificabilidad



## DISCUSIÓN

El sistema de medida con carbón activo se ha demostrado que es útil para estimar la concentración de radón en viviendas, conforme a las condiciones establecidas por la EPA<sup>10</sup>, por lo que se propone realizar medidas, durante tres meses, con otro sistema, como son los detectores de trazas, en aquellas viviendas que hayan superado los 100 Bq/m<sup>3</sup>, con el fin de calcular la exposición anual recibida por el individuo situando los detectores en las zonas de mayor habitabilidad<sup>29</sup>.

Hay estudios que demuestran que la exhalación de radón al interior de la vivienda es función de variables meteorológicas como presión atmosférica, temperatura y humedad<sup>30</sup>, y la variación de la concentración de radón depende también de las condiciones de ventilación e intercambio de aire. Además, la concentración de radón es diferente en función de la estación del año, siendo más representativo de la concentración anual, las medidas realizadas en invierno y primavera<sup>31</sup>, aunque exista una controversia por distintos autores al respecto sobre los periodos estudiados<sup>32</sup> y los máximos valores encontrados<sup>33</sup>. En nuestro caso los resultados obtenidos en las dos épocas del año presentan una concentración de radón ligeramente inferior en primavera con respecto al invierno.

Rasmussen, detectó concentraciones de radón mayores en pisos más bajos, con disminución a alturas mayores del tercer piso<sup>26</sup>, sin embargo, en nuestro estudio también se han detectado sorprendentemente valores altos en pisos elevados. Por ello, sería de interés estudiar el comportamiento del gas en lo que respecta a la dinámica de acumulación y difusión de este.

El principal factor que gobierna la concentración del radón en el terreno es la distribución geoquímica del uranio en los distintos tipos de rocas<sup>15</sup>. Con los resultados obtenidos, y puesto que la composición del suelo en la ciudad de Madrid<sup>34</sup> está formada fundamentalmente por arcillas, que contienen 3,7 ppm de <sup>238</sup>U, la realización de medidas es fundamental para detectar aquellas viviendas que pudieran presentar concentraciones próximas a los niveles de referencia con el objetivo de tomar las medidas necesarias para su remediación.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Sources and effects of ionizing radiation United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes, Vol. I. [actualizado en 2010; citado el 16 de febrero de 2022] Disponible en: [https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR\\_2008\\_Report\\_Vol.I-CORR.pdf](https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I-CORR.pdf).
2. United Nations Environment Programme (UNEP) 2016. Radiation: effects and sources. United Nations Environment Programme. United Nations: Vienna; 2016.
3. Baskaran M. Radon: A tracer for Geological, Geophysical and Geochemical studies. Springer: Detroit; 2016.
4. Vieira C, Koutrakis P, Huang S, Grady S, Hart JE, Coull BA, et al. Short-term effects of particle gamma radiation activities on pulmonary function in COPD patients. *Environ. Res.* 2019; 175:221-7.
5. Barbosa-Lorenzo R, Ruano-Ravina A, Ramis R, Aragonés N, Kelsey KT, Carballeira-Roca C, et al. Residential radon and COPD. An ecological study in Galicia, Spain. *Int. J. Radiat. Biol.* 2017; 93(2):222-30.
6. ICRP 126. Radiological Protection against Radon Exposure Publication 126: Ann. ICRP 2014; 43(3):5-73.
7. Manual de la OMS sobre el radón en interiores. Una perspectiva de Salud Pública. Organización Mundial de la Salud: Ginebra; 2015.
8. Darby S, Hill D, Deo H, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, et al. Residential radon and lung cancer-detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14 208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scand. J. Work. Environ. Health* 2006; 32(1):1-84.
9. Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M, Catalan VS, Field RW, et al. Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of 7 American case-control studies. *Epidemiology* 2005; 16(2):137-45.
10. United States Environmental Protection Agency (EPA). A Citizen's Guide to Radon. Washington; EPA. 2012. [actualizado en 2012; citado el 9 de marzo de 2022] Disponible en: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-02/documents/2012\\_a\\_citizens\\_guide\\_to\\_radon.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-02/documents/2012_a_citizens_guide_to_radon.pdf).
11. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2006. Effects of ionizing radiation. Volume II, Annex E: Sources to effects assessment for radon in homes and workplaces. [actualizado en 2006; citado el 17 de enero de 2022] Disponible en: [https://www.unscear.org/docs/publications/2006/UNSCEAR\\_2006\\_Report\\_Vol.II.pdf](https://www.unscear.org/docs/publications/2006/UNSCEAR_2006_Report_Vol.II.pdf).
12. Directiva 2013/59/EURATOM del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom. DOUE nº L13 de 17 de enero de 2014.
13. Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). El mapa predictivo de exposición al radón en España. Colección de Informes técnicos 38.2013. CSN: Madrid; 2013. [actualizado en 2013; citado el 14 de marzo de 2022] Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-31%20EI%20mapa%20predictivo%20de%20exposici%C3%B3n%20al%20rad%C3%B3n%20en%20Espa%C3%B1a>.
14. Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Proyecto Marna. Mapa de radiación gamma natural. Colección de Informes Técnicos 5.2000. CSN: Madrid; 2000.
15. Instituto Geológico y Minero de España. Mapa Litoestratigráfico, de Permeabilidades e Hidrogeológico de España a escala 1:200.000. [actualizado en 2009; citado el 11 de abril de 2022] Disponible en: <https://igme.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=3dc3fcb142594d6e821c5f645b16ffa1>.
16. Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Cartografía del potencial de radón de España. Colección de Informes técnicos 51.2019. CSN: Madrid; 2019. [actualizado en 2019; citado el 11 de abril de 2022] Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04.41+Cartograf%C3%ADa+del+potencial+de+rad%C3%B3n+de+Espa%C3%B1a>.

17. Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. BOE nº 311 de 27 de diciembre.
18. Baeza A, Navarro E, Roldán C, Ferrero JL, Juanes D, Corbacho JA, et al. Indoor radon levels in buildings in the autonomous community of Extremadura (Spain). *Radiat. Prot. Dosim.* 2003; 3:263-8.
19. Gray D, Windham S. Narel Standard operating procedures for <sup>222</sup>Rn Measurement using diffusion barrier charcoal canisters. EPA: Montgomery; 1990.
20. Canberra. Radon Analysis CISE 437. Canberra Industries Inc.: Meriden; 1987.
21. Sánchez AM, De la Torre Pérez J, Sánchez AR, Correa FN. Radon in workplaces in Extremadura (Spain). *J. Environ. Radioact.* 2012; 107:86-91.
22. Knoll GF. *Radiation Detection and Measurement*. John Wiley & Sons: New York; 2000.
23. Alphaguard. Saphymo GmbH, Germany. [actualizado en 2015; citado el 11 de abril de 2022] Disponible en: [https://eis-me.com/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/2016/02/SAPHYMO-ALPHAGUARD-Datasheet.pdf](https://eis-me.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2016/02/SAPHYMO-ALPHAGUARD-Datasheet.pdf).
24. Stojanovska Z, Boev B, Zunic ZS, Bossew P, Jovevska S. Results of radon CR-39 detectors exposed in schools due two different long-term periods. *Nukleonika* 2016; 61(3):385-9.
25. del Castillo F, Casado C, Scheifler M. Tipología municipal de la Comunidad de Madrid Instituto de Estadística. Consejería de Economía e Innovación Tecnológica. Comunidad de Madrid; 2006. [actualizado en 2006; citado el 11 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.madrid.org/iestadis/fijas/informes/descarga/tipomuni06cu.pdf>.
26. Rasmussen T. The risk of radon induced lung cancer in rental accommodation. *Mater. Sci. Eng.* 2019; 609:042010.
27. Lorenzo-González M, Ruano-Ravina A, Peón J, Piñeiro M, Barros-Dios JM. Residential radon in Galicia: a cross-sectional study in a radon-prone area. *J. Radiol. Prot.* 2017; 37:728-41.
28. Senitkova I, Kraus M. Seasonal and Floor variations of indoor Radon concentration. *Earth Environ. Sci.* 2019; 221:012127.
29. Public Health England, 2018. Validation scheme for organizations making measurements of radon in UK buildings: 2018 revision. [actualizado en 2018; citado el 11 de abril de 2022] Disponible en: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/742223/validation\\_scheme\\_for\\_organisations\\_making\\_measurements\\_of\\_radon\\_in\\_UK\\_buildings\\_2018.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/742223/validation_scheme_for_organisations_making_measurements_of_radon_in_UK_buildings_2018.pdf).
30. Clouvas A, Xanthos S, Takoudis G. Indoor radon levels in Greek schools. *J. Environ. Radioact.* 2011; 102:881-5.
31. Moreno V, Bach J, Baixeras C, Font LI. Characterization of blowholes as radon and thoron sources in the volcanic region of la Garrotxa, Spain. *Radiat. Meas.* 2009; 44:929-33.
32. Daraktchieva Z. New correction factors based on seasonal variability of outdoor temperature for estimating annual radon concentrations in UK. *Radiat. Prot. Dosim.* 2017; 175:65-74.
33. Tsalpova A, Kovlerb K. Indoor radon regulation using tabulated values of temporal radon variation. *J. Environ. Radioact.* 2018; 183:59-72.
34. Quindós S. Radón. Consejo de Seguridad Nuclear; Madrid: 1995.