

Niveles de concentración de radón en las farmacias comunitarias de los municipios de la zona II de la Comunidad de Madrid

Níveis de concentração de radão nas farmácias comunitárias dos municípios da zona II da Comunidade de Madrid

Radon Concentration Levels inside Community Pharmacies of Municipalities in Zone II of the Community of Madrid

Alberto Lavín Robles¹, José María Ordóñez Iriarte², Candelas Gómez Caloca³, José Carlos Sáez Vergara³

¹ Universidad Francisco de Vitoria, Madrid.

² Dirección General de Salud Pública. Comunidad de Madrid. Universidad Francisco de Vitoria, Madrid.

³ Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

Cita: Lavín Robles A, Ordoñez Iriarte JM, Gómez Caloca C, Sáez Vergara JC. Niveles de concentración de radón en las farmacias comunitarias de los municipios de la zona II de la Comunidad de Madrid. Rev. Salud ambient. 2025; 25(1):4-15.

Recibido: 29 de julio de 2024. **Aceptado:** 4 de febrero de 2025. **Publicado:** 15 de junio de 2025.

Autor para correspondencia: José M^a Ordóñez Iriarte.
Correo e: josemaria.ordonez@salud.madrid.org

Financiación: Esta investigación se realizó en el marco del Trabajo Fin de Grado (TFG) No hubo financiación externa.

Declaración de conflicto de intereses: No existen conflictos de interés relacionados con la investigación presentada.

Declaraciones de autoría: ALR trabajó en el diseño del estudio, análisis de datos y redacción; CGC colaboró con el planteamiento metodológico y en las medidas de radón en el laboratorio; JCSV y JMOI fueron los responsables del diseño del estudio, análisis de datos y redacción principal. Cada uno de los coautores revisó y aprobó el manuscrito final.

Resumen

El radón es un gas ubicuo en la corteza terrestre, especialmente abundante en terrenos graníticos. Es un emisor α que exhala de los suelos y puede entrar a las viviendas y acumularse en estas, generando una importante exposición por radiaciones ionizantes a los residentes. Su inhalación en ambientes interiores supone un importante riesgo para la salud, por estar catalogado como carcinógeno del Grupo I. El nivel de radón en las viviendas recomendado por la OMS es de 100 Bq/m³; en España, el valor de referencia es de 300 Bq/m³. Con el objeto de conocer las concentraciones de este gas, se ha llevado a cabo un estudio de tipo transversal, en el que han participado 48 farmacias de la Comunidad de Madrid, ubicadas en los municipios catalogados por el CSN de zona II, con mayor riesgo al radón. El periodo de estudio ha sido desde octubre del 2021 hasta marzo de 2022. Para medir el radón se han utilizado 55 detectores electrete cuya lectura fue realizada por el Laboratorio de Medidas de Radón, del CIEMAT. Las variables epidemiológicas fueron recogidas mediante encuesta. En el 96,4 % de las farmacias se encontraron niveles inferiores a 300 Bq/m³; solo en dos se superó dicho valor. Se ha encontrado una relación directa y estadísticamente significativa entre los niveles de radón y el sexo, la edad y el material de construcción del edificio. Según los farmacéuticos encuestados, la percepción del riesgo de este gas es muy baja entre la población, el 10,4 %; además, como sanitarios que son, el 91,7 % de ellos estarían dispuestos a informar de esos riesgos a la población para lograr una mayor educación sanitaria.

Palabras clave: radón; farmacias comunitarias; municipios Zona II; Comunidad de Madrid.

Resumo

O radão é um gás ubíquo na crosta terrestre, especialmente abundante em terrenos graníticos. Es um emissor α que exala do solo e pode entrar nas residências, acumulando-se nelas e gerando uma exposição significativa a radiações ionizantes para os moradores. A sua inalação em ambientes interiores representa um risco importante para a saúde, sendo classificado como carcinogénico do Grupo I. O nível de radão recomendado pela OMS para habitações é de 100 Bq/m³; em Espanha, o valor de referência

é de 300 Bq/m³. Com o objetivo de conhecer as concentrações deste gás, foi realizado um estudo transversal, no qual participaram 48 farmácias da Comunidade de Madrid, localizadas nos municípios catalogados pelo CSN como zona II, com maior risco de radão. O período de estudo decorreu de outubro de 2021 a março de 2022. Para medir o radão, foram utilizados 55 detetores electrete, cuja leitura foi realizada pelo Laboratório de Medidas de Radão do CIEMAT. As variáveis epidemiológicas foram recolhidas por meio de inquérito. Em 96,4% das farmácias foram encontrados níveis inferiores a 300 Bq/m³; apenas em duas farmácias este valor foi ultrapassado. Foi encontrada uma relação direta e estatisticamente significativa entre os níveis de radão e o sexo, a idade e o material de construção do edifício. A percepção do risco deste gás é muito baixa entre a população (10,4%), e o farmacêutico comunitário, como profissional de saúde, dada a sua excelente disposição (91,7%) poderia ser um bom comunicador do risco do radão entre a população do seu município, visando uma maior educação sanitária.

Palavras-chave: radão; farmácias comunitárias; municípios Zona II; Comunidade de Madrid.

Abstract

Radon is a gas that is ubiquitous in the Earth's crust, and is particularly abundant in granitic terrains. It is an alpha emitter that emanates from the soil and can enter homes, accumulating within them and causing significant exposure to ionizing radiation for the residents. Breathing it indoors poses a significant health risk because it has been classified as a Group 1 carcinogen. The WHO-recommended indoor radon level is 100 Bq/m³, whereas the reference value in Spain is 300 Bq/m³. In order to find out the concentrations of this gas, a cross-sectional study was conducted in 48 Community of Madrid pharmacies located in those municipalities that have been classified as being in Zone II, i.e., the area with the highest radon exposure risk, by the Spanish nuclear regulator (C.S.N.). The study took place from October 2021 through March 2022. 55 electrete detectors were used to measure the radon levels. The readings were taken by the Radon Measurement Lab of the Center for Energy, Environmental and Technological Research (C.I.E.M.A.T.). The values corresponding to the epidemiological variables were collected by means of a survey. Radon levels below 300 Bq/m³ were found in 96.4 percent of the pharmacies; this value was only exceeded in two of them. A direct, statistically significant relationship between radon levels and sex and the age and construction material of the buildings was found. The population's perception of the risk of exposure to this gas is very low (10.4%). Hence, community pharmacists, in their capacity as health professionals and in view of their excellent disposition (91.7%), could be good communicators of such risk to the population of their municipality so as to increase its knowledge of health matters.

Keywords: radon; community pharmacists; municipalities Zone II; Community of Madrid.

INTRODUCCIÓN

Desde su aparición en la Tierra, el ser humano ha estado expuesto a radiaciones de tipo natural, dentro de las cuales se distinguen dos fuentes principales: la radiación cósmica y la terrestre. Esta exposición es continua e inevitable dada la ubicuidad de los isótopos radiactivos en el medio ambiente. Dentro de las radiaciones de tipo natural, la que mayor impacto tiene es la proveniente del radón¹.

El radón (Rn) es un gas noble muy inerte, incoloro, inodoro e insípido en condiciones normales que posee una densidad 7,5 veces superior a la del aire. Sus dos isótopos de mayor relevancia son el ²²⁰Rn y el ²²²Rn, siendo este último el de mayor semivida (3,8 días), así como el más abundante y del que se obtienen las medidas ambientales². El radón es ubicuo en la corteza terrestre, sin embargo, terrenos de roca de naturaleza ígnea (granítica), suelen poseer niveles superiores al tener un contenido rico en uranio y descendientes, sus precursores. Puede desplazarse a la superficie empleando fisuras o poros en el suelo y las rocas, o a través de su disolución en agua subterránea. Su acumulación es algo frecuente, especialmente en lugares con ventilación

escasa, como sótanos o primeras plantas de viviendas, lo cual entraña un riesgo considerable para la salud³.

El riesgo derivado de la exposición se debe a la naturaleza radiactiva del radón. Al desintegrarse da lugar a sus descendientes de vida corta, cargados eléctricamente, que son capaces de adherirse a pequeñas partículas de aerosoles suspendidas en el aire. Al ser fácilmente inhaladas, pueden ser retenidas en el sistema respiratorio. Allí continúan su desintegración, emitiendo radiación ionizante en forma de partículas α que impactan sobre el epitelio, pudiendo dar lugar a un daño severo a las células y al ADN^{4,5}.

Desde el año 1988, el radón está clasificado como cancerígeno del Grupo I según el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC), institución perteneciente a la Organización Mundial de la Salud (OMS). Es importante reseñar que los efectos carcinogénicos producto de la exposición no son inmediatos, sino que se manifiestan tras una exposición prolongada, de hasta incluso décadas⁶. Según la OMS, se estima que son atribuibles al radón entre el 3 % y el 14 % de casos de cáncer de pulmón, en función del valor medio de exposición a este gas y su interacción con el

tabaquismo³. Los fumadores tienen un riesgo superior debido a los efectos sinérgicos entre el radón y el hábito tabáquico^{7,8}. En no fumadores, el radón supone el primer factor de riesgo para el cáncer de pulmón⁹.

Con respecto a los niveles de referencia existe cierto consenso internacional; de acuerdo con la OMS, el nivel de referencia anual de radón residencial no debe superar los 100 Bq/m³. Sin embargo, en circunstancias concretas que impidan alcanzarlo, se debe intentar mantener por debajo de los 300 Bq/m³. Por su parte, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)¹⁰ recomienda a las autoridades establecer un nivel de referencia nacional tan bajo como sea posible dentro del rango de 100-300 Bq/m³. Por otro lado, dentro del marco europeo, la Directiva 2013/59/Euratom obliga a los Estados miembros a tomar medidas para proteger a la población de los riesgos de exposición a radiaciones ionizantes, incluyendo la implantación de planes nacionales de actuación contra el radón¹¹. La trasposición de esta Directiva, a través del Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes, ha establecido para viviendas y lugares de pública concurrencia la cifra de 300 Bq/m³ como nivel de referencia¹².

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), en base a las medidas realizadas, ha definido zonas donde los edificios de los municipios allí ubicados pueden tener concentraciones superiores al nivel de referencia de 300 Bq/m³. Dichos municipios han sido clasificados en dos tipos, zona I y zona II, y el listado de los mismos ya se publicó en la normativa relativa al Código Técnico de la Edificación^{13,14}. En los municipios de zona I, o bien hasta un 5 % de su tejido urbano está ubicado en áreas con potencial superior a 300 Bq/m³ o más de un 5 % se encuentra en áreas con potencial entre 200-300 Bq/m³. Los municipios de zona II, entrañan un mayor riesgo, pues más de un 5 % de su tejido urbano se encuentra en zonas con potencial de radón superior a 300 Bq/m³ y, previsiblemente, serán los incluidos en el listado de actuación prioritaria que el Consejo de Seguridad Nuclear está pendiente de publicar en formato de Instrucción de seguridad.

El objeto de este estudio es el de conocer la concentración de radón ambiental en el interior de edificios de elevada afluencia, como son las farmacias ubicadas en los municipios de la zona II de la Comunidad de Madrid¹⁴. Este estudio surge como propuesta de Trabajo Fin de Grado (TFG) ofertado a los alumnos del Grado de farmacia, de la Universidad Francisco de Vitoria de Madrid. Para llevarlo a cabo, se ha tenido en cuenta el marco de colaboración establecido entre la Universidad Francisco de Vitoria y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

y se ha contado con la ayuda del Colegio Oficial de Farmacéuticos de Madrid (COFM)¹⁵.

MATERIALES Y MÉTODO

Estudio observacional de tipo transversal llevado a cabo entre octubre de 2021 y marzo de 2022. Los sujetos de estudio eran las 110 farmacias comunitarias¹⁵ existentes en los 112 municipios de la Comunidad de Madrid definidos por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) como zona II por su potencial riesgo de radón¹⁴. Se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia que se basa en la disponibilidad y aceptación de los titulares de las farmacias comunitarias, pero se intentó que fueran representativos del conjunto de la población diana. Se reclutaron 48 farmacias, de las 110 existentes en esos municipios, donde se ubicaron 55 detectores. El criterio de inclusión fue el de aceptación a participar y el de exclusión, la no aceptación.

Para el reclutamiento, así como para explicar más concretamente el proyecto y resolver posibles dudas, se remitió, en primer lugar, una carta con las bases del estudio a las 110 farmacias y, posteriormente, se organizó una reunión virtual con los titulares en la que participó el Laboratorio de Medidas de Radón (LMRn), perteneciente a la Unidad de Gestión de Residuos, del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

Las mediciones de radón, llevadas a cabo por el Laboratorio de Medidas de Radón del CIEMAT (LMRn), se hicieron mediante detectores pasivos tipo *electrete*, cuya metodología está acreditada por ENAC para la instalación *in situ* de este tipo de detectores y su posterior medida¹⁶. El *electrete* consta de un disco de Teflón® cargado, que sirve tanto como fuente de recolección de iones, como de sensor integrador de ionización. El gas radón se difunde pasivamente hacia la cámara a través de entradas con filtro, y las partículas alfa emitidas por el proceso de decaimiento ionizan las moléculas de aire. Los iones negativos generados dentro de la cámara son recolectados en el *electrete* cargado positivamente, lo que causa una reducción de su carga o voltaje superficial. Esta reducción de la carga o voltaje superficial es una función de la concentración de radón, la duración del período de medición y el volumen de la cámara. Se instalaron 55 detectores; de ellos, 46 se colocaron en el interior de la farmacia, en la planta de atención al paciente y 9 se ubicaron en el sótano de la misma farmacia. En la elección del lugar, se tuvo en cuenta la ventilación, con el fin de determinar el peor escenario posible de radón y se instaló a una altura de entre los 50 centímetros y los 2 metros, con el orificio de la cámara orientado hacia el centro de la estancia. Se anotó la hora exacta de cada medición, tanto inicial, como periódica. Los detectores estuvieron colocados aproximadamente durante tres meses, desde

octubre a marzo, pero se midió el tiempo exacto de cada uno, para los cálculos posteriores. Durante ese tiempo se realizaron mediciones periódicas para estimar el nivel mensual. Dado que las medidas se efectuaron en época fría, al menos en parte, con funcionamiento de la calefacción, no fue necesario aplicar ninguna corrección estacional¹⁶. En los lugares donde se obtuvieron medidas superiores al nivel de referencia (300 Bq/m³), el LMRn procedió a colocar simultáneamente un detector pasivo y un monitor de radón en continuo modelo Alpha E, de la firma Bertin, cuyo límite de detección es de 20 Bq/m³ ($\pm 10\%$). Además de la concentración, se determinó la incertidumbre de medida, permitiendo caracterizar la dispersión de los valores atribuidos a la concentración, reflejando la calidad del resultado cuantitativamente¹⁷. El cálculo de concentraciones se realizó aplicando las operaciones matemáticas proporcionadas por el fabricante, mediante la hoja de cálculo Excel. En aquellas farmacias donde se colocaron dos captadores, se expresó la media de los dos como estimador de la concentración de radón de la misma. Para cada municipio se calculó la media aritmética y geométrica de todos los detectores ubicados en las farmacias.

La recogida de las variables epidemiológicas de tipo sociodemográficas (municipio, sexo, edad, etc.) y ambientales (año de construcción de la farmacia, materiales de construcción, calefacción, aire acondicionado, etc.) se hizo con un cuestionario propio diseñado *ad hoc*, que fue cumplimentado en cada farmacia, por el equipo investigador. Las preguntas que figuraban en el cuestionario fueron probadas previamente con un grupo de personas que, aunque no incluidas en el estudio, tenían características similares, y aquellas que demostraron estar mal redactadas o ser ambiguas, fueron debidamente modificadas o eliminadas.

La población de cada municipio se ha extraído del padrón del año 2021 del Instituto Nacional de Estadística¹⁸.

Los datos obtenidos se almacenaron en una base de datos Excel y fueron procesados con el paquete estadístico INM@SPSS@Statistics, versión 21. Para la descripción de las variables se realizaron distribuciones, cálculos de porcentajes con sus intervalos de confianza al 95%. Se agruparon rangos de variables para aumentar el tamaño y se hicieron transformaciones de las variables para llevar a cabo algunos análisis, en concreto, en los datos de radón se utilizaron log-transformados, porque se ajustan mejor a la distribución normal. Se llevaron a cabo análisis de t de Student para muestras independientes y para muestras apareadas, y de χ^2 (ji cuadrado de Pearson).

En todo momento se han respetado las normas internacionales de protección de datos, así como la

legislación española vigente (Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales) y normativa que la desarrolla¹⁹. El Comité de Ética del Comité de Investigación, de la Universidad Francisco de Vitoria, aprobó la autorización para la realización de este estudio; además, los interesados fueron informados de que la participación era completamente voluntaria y que llevaba implícito el consentimiento informado.

Con el objetivo de respetar estas normas de protección y mantener la privacidad de cada farmacia durante la divulgación de resultados, se procedió a la asignación, de forma aleatoria y sin duplicados (mediante Excel), de un nombre de un *pool* determinado²⁰. Además, se informó de forma individualizada, mediante carta personalizada dirigida a cada farmacia, de la concentración de radón que se había encontrado, ofreciéndoles la posibilidad de explicarles y aclararles cualquier duda que tuvieran.

RESULTADOS

Participaron 48 farmacias, de las 110 existentes, lo que supone el 43,6%. Estas farmacias están ubicadas en 21 municipios de los 112 que hay en la zona II, el 24,4% (figura 1 y tabla 1). Los municipios en los cuales se reclutaron un mayor número de farmacias fueron Collado Villalba (9), Galapagar (8), Torreloaños (6) y San Lorenzo de El Escorial y Alpedrete (4 en cada uno).

Figura 1. Mapa de municipios categorizados como de zona II y zona I en función del potencial de radón

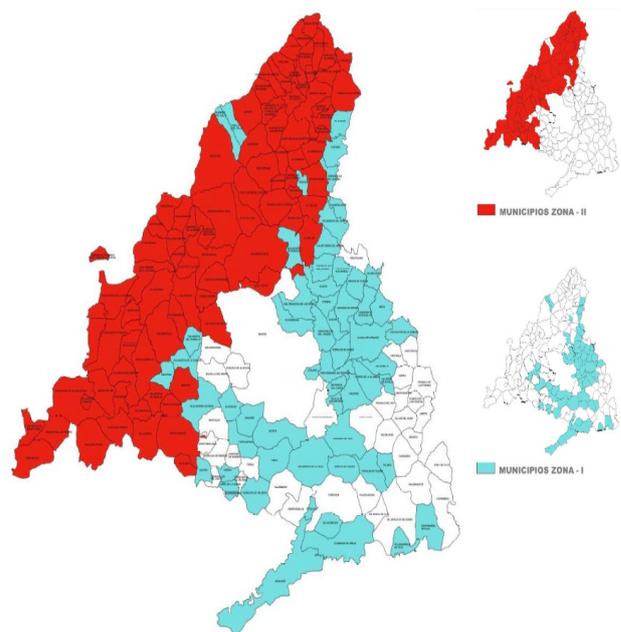


Tabla 1. Grado de participación de los farmacéuticos comunitarios

VARIABLES	ZONA II (n)	MUESTRA (n; %)
Farmacias	110	48 (43,6)
Municipios	86	21 (24,4)
Población	671 234	371 978 (55,4)

En la tabla 2 se recogen las variables demográficas. El 60,4 % de los participantes son mujeres frente a un 39,6 % de hombres. En el caso de los rangos etarios, una clara mayoría de farmacéuticos tenían edades comprendidas entre los 41 y los 65 años (56,3 %), seguidos de 18 a 40 años (31,3 %); en último lugar los mayores de 65 años (10,4 %). Un 89,6 % de los farmacéuticos respondió que no creen que la población de su municipio tenga conocimiento de los riesgos del radón y un 91,7 % contestó que estarían dispuestos a informar sobre estos riesgos desde su centro sanitario.

Tabla 2. Variables sociodemográficas de los farmacéuticos que participaron y sobre su opinión

VARIABLES SOCIODEMOGRÁFICAS	Número (%)	Recodificado (n, %)
Sexo (n; %)		
Mujer	29 (60,4)	
Hombre	19 (39,6)	
Edad (años; n; %)		
18-40	15 (31,3)	18-40: 15 (31,9)
41-65	27 (56,3)	
Más de 65	5 (10,4)	41-70: 32 (68,1)
NS/NC	1 (2,0)	
La población conoce los riesgos del radón:		
Sí	5 (10,4)	
No	43 (89,6)	
Le gustaría informar sobre el radón		
Sí	44 (91,7)	Sí: 44 (93,6)
No	3 (6,3)	No: 3 (6,4)
NS/NC	1 (2,0)	

En la tabla 3 se señalan las características más relevantes del interior de las farmacias participantes en las que se ubicaron los detectores. De las 48 farmacias, 32 (66,7 %) tenían instalación de aire acondicionado. En 37 de las 48 (77,1 %) había calefacción y las 11 restantes (22,9 %) carecían de ella. En relación con la ventilación natural del establecimiento, refieren que la practican

todos los días en 29 farmacias (60,4 %); en 3 (6,2 %) lo hacían la mitad de los días de apertura y en 14 (29,2 %) no ventilaban casi nunca. Con respecto a los edificios donde se sitúan las farmacias ofrece los siguientes datos: 30 (62,5 %) fueron construidos entre la década de los 80 y el año 2009 y el material de construcción de los edificios mayoritario es el ladrillo (85,4 %), seguido de la piedra (10,4 %).

Tabla 3. Características de las farmacias donde se ubicaron los captadores de radón

VARIABLES	Número (%)	Recodificado (n, %)
Aire acondicionado:		
Sí	32 (66,7)	
No	16 (33,3)	
Calefacción:		
Sí	37 (77,1)	Sí: 37 (77,1)
No	10 (20,8)	No: 10 (22,9)
NS/NC	1 (2,1)	
Realiza ventilación natural:		
Todos los días	29 (60,4)	Sí: 29 (63,0)
La mitad de los días	3 (6,2)	No: 17 (37,0)
Casi nunca	14 (29,2)	
NS/NC	2 (4,2)	
Años de construcción del edificio donde se encuentra la farmacia:		
Antes de 1930	1 (2,1)	Años del edificio:
1930-1939	0 (0,0)	≤20: 10 (22,2)
1940-1949	1 (2,1)	21-40: 20 (44,4)
1950-1959	1 (2,1)	41-60: 10 (22,2)
1960-1969	5 (10,4)	> 60: 5 (11,1)
1970-1979	5 (10,4)	
1980-1989	8 (16,7)	
1990-1999	10 (20,8)	
2000-2009	12 (25,0)	
Más de 2009	2 (4,2)	
Desconocido	3 (6,2)	
Material de construcción de la farmacia:		
Ladrillo	35 (72,9)	Material
Piedra	11 (22,9)	Ladrillo: 35 (76,1)
Otro	1 (2,1)	Piedra: 11 (23,9)
NS/NC	1 (2,1)	

ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE RADÓN DETECTADOS

En el 96,4 % de las farmacias se encontraron niveles inferiores a 300 Bq/m³. La tabla 4 recoge, desglosado por municipios, el número de detectores colocados, el valor medio de radón encontrado, expresado como media aritmética y geométrica y los valores máximo y mínimo, con sus respectivas incertidumbres. El valor máximo medido es de 409 Bq/m³ en una farmacia de Alpedrete, con una incertidumbre de 54 Bq/m³ y el mínimo de 26 Bq/m³ en Torrelodones, con una incertidumbre de 10 Bq/m³. La media aritmética de las concentraciones de radón es 99,5 Bq/m³, la geométrica 79,8 Bq/m³ y la desviación estándar es de 10,7 y 1,9 Bq/m³ respectivamente. Los histogramas que muestran la distribución del radón detectado en las farmacias estudiadas se pueden ver

en la figura 2, donde se aprecia el mejor ajuste de la distribución a la media geométrica.

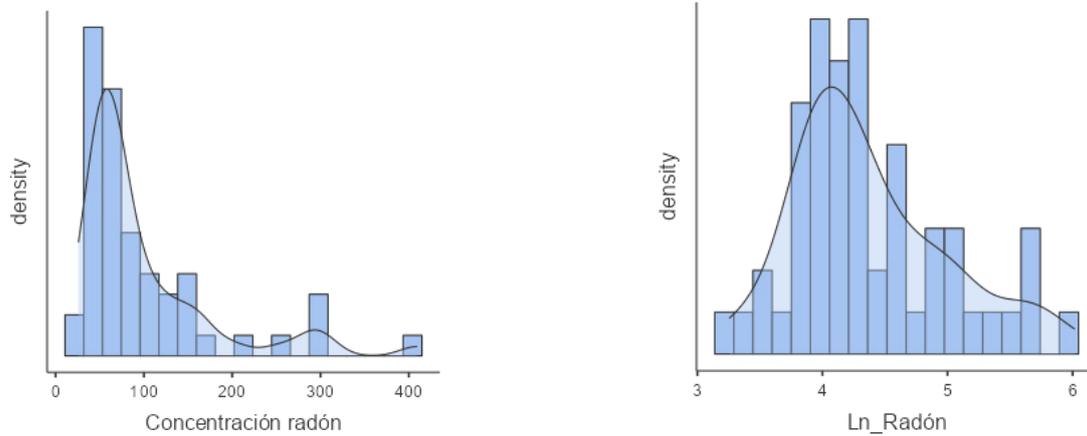
El 96,4 % de las concentraciones promedio de radón obtenidas en las farmacias de la zona II tienen valores que están dentro del límite establecido por las autoridades sanitarias a nivel europeo (<300 Bq/m³). Sin embargo, hay dos farmacias comunitarias en las que dichas mediciones superan los 300 Bq/m³. Se encuentran en Alpedrete (409 Bq/m³) y en Robledo de Chavela (308 Bq/m³).

En 6 municipios, Cercedilla, Navalagamella, Robledo de Chavela, San Lorenzo de El Escorial, Santa María de la Alameda y Zarzalejo, la media de radón superaba el límite de 100 Bq/m³ recomendado por la Organización Mundial de la Salud y ninguno rebasó los 300 Bq/m³.

Tabla 4. Concentración media de radón detectado por municipio donde se ubican las farmacias

Municipio	Población*	N**	Media aritmética [‡] (DE)	Media geométrica [‡] (DE)	Mínimo ^{‡,€}	Máximo ^{‡,€}
Alpedrete	14 959	3 (1)	146 (87,8)	93,9 (2,7)	48 (12)	409 (54)
Becerril de la Sierra	6 108	1	57	56,8	57 (12)	57 (12)
Cercedilla	7 359	2	153 (100,5)	114,4 (3,1)	52 (12)	253 (36)
Collado Villalba	63 825	7 (2)	98 (25,1)	82,3 (1,8)	47 (10)	288 (42)
Colmenar Viejo	52 480	1	35	34,8	35 (10)	35 (10)
Colmenarejo	9 376	1	78	78,3	78 (12)	78 (12)
El Boalo	8 009	1	48	47,9	48 (12)	48 (12)
El Escorial	16 594	2	50 (2,5)	49,4 (1,1)	47 (10)	52 (12)
Galapagar	34 712	6 (2)	98 (22,2)	79,8 (2,0)	27 (10)	205 (30)
Guadarrama	16 747	1	76	75,9	76 (14)	76 (14)
Hoyo de Manzanares	8 680	1 (1)	88 (17,5)	85,6 (1,3)	70 (14)	105 (16)
Los Molinos	4 563	2	71 (10,5)	69,4 (1,2)	60 (10)	81 (14)
Moralzarzal	13 573	2	83 (18)	80,6 (1,4)	65 (14)	101 (18)
Navalagamella	2 720	1 (1)	150 (9,5)	162,4 (1,1)	140 (20)	159 (24)
Robledo de Chavela	4 479	2	178 (130)	121,5 (3,7)	48 (12)	308 (42)
S. L. de El Escorial	18 454	3 (1)	151 (54,7)	117,9 (2,3)	42 (10)	292 (40)
S M. de la Alameda	1 436	1	157	157,6	157 (24)	157 (24)
Torrelodones	24 122	5 (1)	53 (7,9)	49,4 (1,5)	26 (10)	74 (16)
Tres Cantos	48 751	1	52	51,9	52 (10)	52 (10)
Valdemorillo	13 245	2	66 (4,0)	65,4 (1,1)	62 (10)	70 (14)
Zarzalejo	1 786	1	127	126,5	127 (20)	127 (20)
Total	371 978	46 (9)	99,5 (10,7)	79,8 (1,9)	26 (10)	409 (54)

*Datos de INE (2021); ** Número de detectores. Entre paréntesis, los detectores colocados en el sótano de la misma farmacia. [‡]Expresados en Bq/m³ () = Sin Desviación Estándar porque solo hay un dato. [€]Incertidumbre en Bq/m³, IC (95%).

Figura 2. Distribución de la concentración de radón Bq/m³ y la transformada logarítmica

El valor medio más bajo, 35 Bq/m³ se encontró en Colmenar Viejo, donde solo se colocó un detector.

En las farmacias donde se colocaron dos detectores, uno en el interior a pie de calle y el otro en el sótano, las mayores concentraciones de radón, en todos los casos, se dieron en el sótano (tabla 5).

Los valores medios en el interior frente a los valores medios del sótano, presentan unas diferencias estadísticamente significativas: $p < 0,012$, en el análisis de las muestras apareadas y de $p < 0,02$, como medias independientes.

Además, como se puede apreciar, los valores máximos de radón detectado en los sótanos de estas farmacias coinciden con los valores máximos hallados en los municipios de Collado Villalba, Hoyo de Manzanares, Navalagamella, San Lorenzo de El Escorial y Torreledones.

Se han encontrado relaciones estadísticamente significativas (tabla 6) entre los niveles de radón y el sexo ($p = 0,014$), los años del edificio ($p = 0,001$) y el material de construcción donde se encuentra la farmacia ($p = 0,032$); en estas tres variables, la concentración de radón es mayor si se es mujer, si el edificio ha sido construido hace más tiempo y si está edificado con piedra. Cuando la

Tabla 5. Diferencias de concentración de radón en los detectores colocados en la en el interior, a nivel de calle, y en el sótano en la misma farmacia

Municipio	Concentración radón*		p
	Interior	Sótano	
Alpedrete	48	66	0,012
Collado-Villalba	68	123	
Collado-Villalba	99	288	
Galapagar	46	158	
Galapagar**	-	-	
Hoyo de Manzanares	70	105	
Navalagamella	140	159	
San Lorenzo de El Escorial	176	292	
Torreledones	36	74	
Media (Desviación Estándar)	72 (1,7)	152 (1,7)	

* Expresados en Bq/m³.

**En la farmacia de Galapagar elegida, se colocaron, por motivos de espacio, los dos detectores en el sótano.

Tabla 6. Análisis estadístico de la posible relación entre las características sociodemográficas y ambientales y los niveles de radón

Características sociodemográficas y ambientales		Número (n; %)	Niveles de radón (Bq/m ³) (DE)*	p
Sexo	Mujer	29 (60,4)	89,1 (2,0)	0,014
	Hombre	19 (39,6)	57,3 (1,5)	
Edad*	18-40	15 (31,9)	74,4 (1,9)	NS
	41-65 y >	32 (68,1)	75,9 (1,9)	
Años del edificio*	≤20	10 (22,2)	74,9 (1,8)	0,001
	21-40	20 (44,4)	57,1 (1,4)	
	41-60	10 (22,2)	80,0 (2,1)	
	>60	5 (11,1)	194,7 (1,9)	
Material de construcción**	Ladrillo	35 (76,1)	65,8 (1,7)	0,032
	Piedra	11 (23,9)	102,2 (2,1)	
Calefacción	Sí	37 (77,1)	68,3 (1,7)	0,088
	No	10 (22,9)	99,6 (2,0)	
Calefacción funcionando con detector*	Sí	28 (70)	66,7 (1,8)	NS
	No	12 (30)	73,7 (1,8)	
Aire acondicionado**	Sí	32 (67,7)	68,4 (1,8)	NS
	No	16 (33,3)	83,3 (2,0)	
Aire acondicionado funcionando con detector**	Sí	9 (27,3)	60,3 (1,5)	NS
	No	24 (72,7)	76,5 (1,8)	
Ventilación todos los días**	Sí	29 (63,0)	71,5 (1,7)	NS
	No	17 (37,0)	82,3 (2,1)	

* =Desviación estándar: **Hasta 48, desconocidos

calefacción no funciona, los niveles de radón son mayores que cuando está operativa, rozando las diferencias la significación estadística.

DISCUSIÓN

Los niveles de radón encontrados en las farmacias de los municipios de la Zona II de la Comunidad de Madrid, siguen una distribución logarítmica con una media aritmética de $99,5 \pm 10,7$ Bq/m³ y geométrica de $79,8 \pm 1,8$ Bq/m³, presentando un máximo de 409 (incertidumbre 54) y un mínimo de 26 Bq/m³ (incertidumbre 10). Estos valores están por debajo de lo que se encuentran en algunos estudios llevados a cabo en Galicia que halló 253 Bq/m³ de media geométrica²¹. Otro estudio, en el que se establece la relación entre cáncer de pulmón y niveles de radón en el domicilio⁸, los valores encontrados en las viviendas de Galicia estuvieron entre 75,4 (2,4) y 66,4 (3,0) Bq/m³, como media geométrica. En León, un diseño de casos y controles realizado en el año 2016, los valores encontrados, en este caso en los domicilios fueron de media aritmética de 85,2 Bq/m³ (media geométrica de 67,7 Bq/m³) en los casos y de 100,1 Bq/m³ (aritmética) y 67,2 Bq/m³ (geométrica), en los de los controles²³. Hay que señalar que la provincia de León es también una zona de España que tiene un

conjunto amplio de municipios caracterizados como de zona II, aunque menor que en Galicia.

En un estudio comparativo del riesgo de exposición al radón residencial entre Rumanía y España²³, se encontró que, en el municipio rumano de Ștei, Transylvania, donde se muestrearon 280 viviendas la media geométrica fue de 136 Bq/m³ y en Torrelodones, Comunidad de Madrid, las viviendas estudiadas fueron 91 y el valor medio hallado fue de 85 Bq/m³. En nuestro estudio, la medida geométrica de radón detectada en las farmacias de Torrelodones fue de 49,4 Bq/m³. A su vez, el valor de la media geométrica de radón en las viviendas de España es de 46 Bq/m³. Este valor fue calculado por Quindós y cols.²⁴ estimado sobre una total de 1 555 viviendas seleccionadas de forma aleatoria en todo el territorio. Sabemos que el principal foco de radón (en la inmensa mayoría de los casos) es el terreno, y la causa es su contenido natural en uranio y torio, a partir de los cuales se generará el radón. Por ello, el Mapa predictivo de exposición al radón en España, elaborado por el Consejo de Seguridad Nuclear²⁵, explica las zonas geográficas en las que, debido a su geología, es más probable encontrar edificios con niveles elevados. Así, mientras que los terrenos de origen basáltico poseen 1 ppm de uranio y 4 ppm de torio, las areniscas, al igual

que los carbonatados poseen 0,5 ppm de uranio y 1,7 ppm de torio, los arcillosos poseen 3,5 ppm y 11 ppm respectivamente, los graníticos poseen 5 ppm de uranio y 12 ppm en torio, poseyendo un mayor potencial emisor de radón, como es el caso de la Sierra de Madrid, donde se ubican las farmacias objeto de este estudio²⁶.

Las dobles mediciones de radón dentro de la farmacia, a pie de calle y en el sótano, muestran diferencias estadísticamente significativas, ofreciendo mayores niveles en el sótano, lo cual es perfectamente explicable al menos por varias circunstancias; una tiene que ver con las propiedades físico químicas del gas radón, en concreto con su densidad que es mayor que la del aire y, por tanto, tiende a acumularse en los sótanos; la segunda es que, precisamente los sótanos tienen peor ventilación lo cual hace que este gas se acumule y, en tercer lugar, estos sótanos que se encontró en las 9 farmacias, eran de reducidas dimensiones¹⁻⁵.

Si bien solamente en dos farmacias se han encontrado valores de radón superiores a los establecidos por la legislación, estos establecimientos y estas concentraciones halladas no son representativas de lo que se puede encontrar en las viviendas de esa misma zona, en particular en las salas donde los habitantes pasan más tiempo, como los dormitorios y los cuartos de estar; por ello, se considera que resultaría muy relevante para la salud pública conocer las concentraciones de radón en las viviendas de esa misma zona. El vigente marco normativo en España lo constituye el Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes¹², en el que se establece un nivel de referencia para la exposición en recintos cerrados de 300 Bq/m³, en términos de promedio anual de la concentración de radón en el aire, tanto para las viviendas o los edificios de acceso público, como para los lugares de trabajo. Un nivel de referencia es un valor por encima del cual se considera inapropiado permitir que se produzcan exposiciones; aun cuando se trate de un límite que no pueda rebasarse, supone una herramienta para la optimización de la protección radiológica¹². No obstante, los valores encontrados tienen relevancia para la salud pública por los potenciales efectos que se derivan de ello y obligan a aplicar la optimización para mantener, tanto el nivel de exposición, como el número de personas expuestas al radón tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta también los factores técnicos, económicos y sociales¹². Numerosos estudios han asociado la exposición al radón, tanto en el ámbito laboral, como en el residencial, con un mayor riesgo de desarrollar cáncer de pulmón²⁷. En el norte de Portugal, donde la media de radón en las viviendas se encuentra entre 16 y 210 Bq/m³, se ha estimado que, entre el 18 y el 28 % de los fallecidos por cáncer de pulmón, es decir 8 514 muertes, podrían deberse a esta exposición²⁸.

Son estimaciones muy acordes con publicaciones previas llevadas a cabo en diferentes países como Francia, Inglaterra o Estados Unidos, que cifraban que la exposición al radón era la causa de entre un 2 y un 14 % de las muertes por cáncer de pulmón en no fumadores³.

En España, el radón participa en el 3,8 % de todas las muertes por cáncer de pulmón a nivel nacional²⁹, lo que supone unos 770 fallecimientos por exposición a este gas en viviendas y lugares de trabajo. Sirva esta referencia para contextualizar los valores hallados en las farmacias del presente estudio.

Algunos estudios ecológicos han demostrado una relación entre los niveles medios de radón y las tasas de incidencia y mortalidad de leucemia infantil³⁰. Además, comienzan a establecerse relaciones robustas entre la exposición al radón en la vivienda y otros efectos, como los de tipo neurodegenerativo y desarrollo neurocognitivo en la adolescencia³¹. Todo ello resulta relevante por el potencial de exposición que podría darse en las escuelas de esos mismos municipios donde se ha llevado a cabo este estudio. Así, en 58 escuelas de Galicia³², se encontró una media geométrica de 285 Bq/m³, valores muy consistentes con otros previamente realizados en la misma zona, aunque medidos con métodos distintos²¹. Las escuelas cobrarían así una gran relevancia por el número de horas y días que pasan, tanto los niños, como los docentes y personal auxiliar, en el interior de las aulas.

Si bien se ha encontrado relación estadísticamente significativa entre el sexo y los niveles de radón, siendo más elevados en las farmacias cuyas titulares son mujeres, es un aspecto que quizá no tendría relevancia. Cabe destacar que hay más farmacéuticas titulares que hombres en la muestra, pero también en el registro de colegiados³³. Por ello, esta asociación o bien es espuria, o bien podría explicarse por distintos hábitos en cuanto a ventilación, por ejemplo.

Los materiales de construcción pueden constituir otra fuente de radón³⁴ por eso interesaba saber sobre estos aspectos. Los años de los edificios donde se ubican las farmacias estudiadas y el material con el que están hechos, muestran una relación estadísticamente significativa con los niveles de radón. A mayor edad del edificio, mayor probabilidad de haber sido construido con piedra de granito, material con el que, en esa zona, se edificaba y, por tanto, mayores niveles de radón en el interior^{23,32,35}. Quizá, pese más el hecho del material de construcción que el estar construido sobre un terreno granítico, lo cual puede explicarse porque, a medida que ha ido evolucionando la construcción, primando conceptos de ahorro energético, los edificios se han ido haciendo cada vez más estancos y con menores filtraciones. Ello ha provocado un incremento en los niveles de radón en el interior por la escasa ventilación³⁴. Sin embargo, aunque la gran mayoría de los edificios tienen menos de 40 años

y, en su construcción se utilizó ladrillo, más que piedra, los edificios más antiguos presentan niveles de radón más altos, lo que justificaría adoptar medidas como las recogidas en el Código Técnico de la Edificación¹⁴, las medidas estructurales propuestas por el CSN³⁴ o las elaboradas por la OMS³; todas ellas aportan muchas propuestas técnicas, para reducir los niveles de radón en zonas de riesgo, como la de la sierra granítica de la Comunidad de Madrid, objeto de este estudio. Entre estas medidas la OMS propone aumentar la ventilación del forjado; instalar un sistema de evacuación mecánica del radón en el sótano o bajo los pisos sólidos; evitar que se filtre desde el sótano hasta las habitaciones; sellar pisos y paredes; y mejorar la ventilación del edificio, sobre todo en el contexto del ahorro energético³. Por ello, la OMS sugiere establecer reglamentos o códigos que exijan la instalación de medidas de prevención del radón en todas las viviendas en construcción, porque está aceptado como un método costo eficaz para proteger a la población. Si se llevan a cabo correctamente, estas medidas reducirían, con el tiempo, el nivel medio de radón en el país y disminuirán el número de viviendas nuevas con concentraciones de radón superiores al nivel de referencia³.

Las farmacias que poseen calefacción presentaron niveles de radón inferiores; así, se observa una relación indirecta, pero no significativa ($p=0,088$). Esto es debido a la recirculación del aire que provoca la misma. Las mediciones de radón se realizaron en los meses más fríos del año (de octubre a marzo) meses en los que estuvieron encendidas, al menos durante un tiempo, las calefacciones allá donde existían. Cuando se calienta el aire en los interiores, se puede producir el llamado efecto *stack* por el cual, el aire caliente, por expansión, tiende a fugarse del edificio generando una ligera depresión que puede aumentar el flujo de radón hacia el interior³³. Este estudio se ha realizado en el periodo del año más conservador, el invierno, la estación en la que mayores concentraciones se alcanzan debido, sobre todo al mayor cierre de las viviendas, y al efecto *stack*^{34,36}. Sin embargo, en otros estudios se señala que los lugares que disponen de calefacción central con agua, los niveles de radón en el interior de los mismos se ven reducidos en más de un 40 % durante el día, como consecuencia del funcionamiento de la calefacción³⁴. Los autores sugieren que la temperatura interna del edificio modula la presión entre la fuente de radón y el interior del edificio, en el sentido que, a mayor temperatura interna, menos potencial de difusión del gas radón al interior, compensando con creces el efecto *stack*³⁶. Es lo que se observa en nuestro estudio.

Por su parte, las farmacias que poseen aire acondicionado presentan niveles inferiores de radón, pero su relación no es estadísticamente significativa. Los aires acondicionados son en definitiva una ventilación forzada, lo cual necesariamente reduce la concentración de radón^{3,32,33,37}.

La ventilación natural, al promover la circulación de aire en el local, puede actuar de manera sinérgica con la instalación del aire acondicionado, diluyendo la concentración del radón. Es importante reseñar que la ventilación ha sido una de las medidas más recomendadas en establecimientos de naturaleza pública debido a las condiciones sanitarias exigidas por la pandemia de SARS-CoV-2³⁸. Es probable que en otras circunstancias la ventilación natural hubiera sido una práctica menos extendida, pudiendo tener cierto impacto en los niveles de radón. En nuestro estudio, existen diferencias entre la práctica de ventilación natural todos los días y los niveles de radón, aunque no es estadísticamente significativa, quizá por el pequeño tamaño muestral.

Lo que sí se debe comenzar a considerar con mayor enjundia es la calidad de los ambientes interiores. El concepto de "higiene del aire", acuñado por Wells a mediados del siglo pasado, captura muy bien la idea de la importancia sanitaria del aire y sugiere de inmediato la necesidad de mantener y preservar los ambientes interiores desde una perspectiva "higiénica", más allá de los también necesarios criterios de confort y de calidad^{38,39}.

En este estudio se ha comprobado, de forma indirecta y como opinión del propio farmacéutico, que la población no es consciente de los riesgos derivados de la exposición al radón, quizá porque siempre ha convivido con él, lo cual puede restar inquietud, o porque no ha habido suficiente divulgación sobre este tema y, por tanto, desconoce los mismos. La investigación sobre percepción y comunicación de riesgos es compleja, requiriendo colaboración con áreas como la psicología cognitiva, de la salud y social. Las decisiones sobre riesgos de salud son difíciles y potencialmente amenazantes, e incluso las comunicaciones cuidadosamente preparadas pueden no eliminar la ansiedad que tales decisiones crean. La preparación sistemática y una comunicación efectiva pueden ayudar a las personas a comprender mejor los riesgos antes de que surjan⁴⁰. La falta de conocimiento de la población sobre el riesgo del radón resalta la importancia de disponer de fuentes de información y la necesidad de una comunicación activa, incluyendo redes sociales. Además, es fundamental la colaboración entre diversas organizaciones confiables, como instituciones de salud y científicas, para una comunicación efectiva del riesgo⁴¹.

En este sentido, la figura del farmacéutico comunitario puede resultar fundamental, más viendo que su actitud, al menos en este estudio es muy positiva: el 93,6 % de ellos, estarían dispuestos a informar a la población de su municipio, sobre los riesgos del radón para su salud. A la hora de establecer una comunicación eficaz es importante inspirar confianza, prestar atención y mantener un diálogo franco. Para inspirar confianza, el comunicador debe ser competente, respetuoso, sincero

y amable y utilizar un lenguaje claro y comprensible. Un comunicador atento debe elegir sus palabras con cuidado, escuchar activamente, observar el lenguaje corporal y saber reconocer las emociones. A fin de mantener un diálogo franco, el comunicador debe buscar aportaciones de la otra parte, compartir información y ofrecer formas de comunicación^{3,40,41}.

El farmacéutico comunitario, como sanitario que es, reúne estas características definidas por la OMS y podría ser un buen aliado de las estrategias de salud pública para abordar el desarrollo de las pautas de prevención de la exposición al radón tal y como quedan recogidas en el Plan Nacional contra el Radón⁴², recientemente aprobado por el Ministerio de Sanidad, uno de cuyos objetivos es el de potenciar la concienciación del público, profesionales y administraciones.

Como conclusión, los valores de radón hallados en las farmacias de los municipios catalogados como de zona II en la Comunidad de Madrid cumplen, en su gran mayoría, con el valor de referencia establecido, lo que ocurre, además en la época invernal, donde se podrían encontrar las concentraciones anuales más altas de este gas. No obstante, este estudio no deja de ser sino una aproximación a la exposición a la que se ve expuesta la población en sus viviendas. Por ello, sería necesario avanzar en este sentido, caracterizando la exposición de la población de esta zona al radón, comenzado por conocer los valores que soportan en sus viviendas, pero también, por conocer las concentraciones en edificios como escuelas y centros de salud, entre otros, donde acude la población más vulnerable.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a Susana Belmonte Cortés, Óscar López Moreno e Inmaculada Castillo Lozano, del Colegio Oficial de Farmacéuticos de Madrid (COFM). También a todos los farmacéuticos que han colaborado en el desarrollo del Trabajo de Fin de Grado, del cual se ha nutrido este artículo, por haber facilitado la ubicación de los detectores de radón en sus centros sanitarios, así como por su contribución contestando a las preguntas del cuestionario diseñado expresamente para este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Consejo de Seguridad Nuclear. Protección radiológica frente a la radiación natural. [Internet]. [citado 24 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.csn.es/frente-a-radiacion-natural>.
- Radon | Rn (Element) -National Center for Biotechnology Information. PubChem [Internet]. [citado 24 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/element/Radon>.
- Organización Mundial de la Salud. Manual de la OMS sobre el radón en interiores. Una perspectiva de salud pública. [Internet]. OMS, 2015 [citado 20 de enero de 2025]; Disponible en: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/161913/9789243547671_spa.pdf?sequence=1.
- National Academy of Sciences. Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI. [Internet]. Washington: National Academies Press; 1999 [citado 9 de junio de 2024]. Disponible en: <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3375739>.
- U.S. Environmental Protection Agency (UESPA). EPA Assessment of Risks from Radon in Homes 2003. [Internet]. [citado 2 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-05/documents/402-r-03-003.pdf>.
- International Agency for Research on Cancer. Man-Made Mineral Fibres and Radon [Internet]. [citado 8 de junio de 2024]. Disponible en: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/IARC-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Man-Made-Mineral-Fibres-And-Radon-1988>.
- Al-Zoughool M, Krewski D. Health effects of radon: a review of the literature. *Int J Radiat Biol* 2009; 85(1):57-69.
- Barros-Dios JM, Barreiro MA, Ruano-Ravina A, Figueiras A. Exposure to Residential Radon and Lung Cancer in Spain: A Population-based Case-Control Study. *Am J Epidemiol*. 15 de septiembre de 2002;156(6):548-55.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). A Citizen's Guide to Radon | The Guide to Protect Yourself and Your Family from Radon.
- ICRP, 2014. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. *Ann. ICRP* 43(3).
- 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:73. D.O.U.E. L/13.1, de 17.1.2014.
- Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes. B.O.E. núm. 305, de 21 de diciembre de 2022.
- Consejo de Seguridad Nuclear. Cartografía del potencial de radón en España. [Internet]. [citado 20 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/914801/FDE-02.17%20Cartograf%C3%ADa%20del%20potencial%20de%20rad%C3%B3n%20de%20Espana%C3%B1a>.
- 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. B.O.E. núm. 311 de 27 de diciembre de 2019.
- Colegio Oficial de Farmacéuticos de Madrid. Buscador de farmacias - Colegio Oficial de Farmacéuticos de Madrid [Internet]. [citado 14 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.cofm.es/es/farmacias/buscador-de-farmacias>.
- Rad Elec. E-PERM® System User's Manual (version 3.3.2) [Internet]. [citado 3 de junio de 2024]. Disponible en: https://www.radelec.com/manuals/Manual-E-PERM_v3_3_2.pdf.

17. Centro Español de Metrología [Internet]. [citado 12 de junio de 2024]. Evaluación de datos de medición. Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida. Edición digital. NIPO:706-10-001-0. Disponible en: <http://www.cem.es/es/divulgacion/documentos/evaluacion-datos-medicion-guia-expresion-incertidumbre-medida-edicion>.
18. Instituto Nacional de Estadística (INE). [Internet]. [citado 13 de junio de 2024]. Madrid: Población por municipios y sexo. (2881). Disponible en: <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2881#!tabs-tabla>.
19. Ley Orgánica 7/2021, de 26 de mayo, de protección de datos personales tratados para fines de prevención, detección, investigación y enjuiciamiento de infracciones penales y de ejecución de sanciones penales. B.O.E, núm. 26, de 27 de mayo de 2021.
20. 20.-Ve la luz la nueva Lista de las Aves de España [Internet]. SEO/BirdLife. 2019 [citado 10 de junio de 2024]. Disponible en: <https://seo.org/listaavesdeespana/>.
21. Cortina D, Durán I, Llerena JJ. Measurements of indoor concentration in the Santiago de Compostela área. *J. Environ. Radioact*, 2008; 99:1538-88.
22. Sevilla Miguélez A I. Exposición a radón en domicilios de diagnosticados con cáncer de pulmón: estudio de casos y controles. Tesis doctoral. Santander: Universidad de Cantabria, 2016. [Internet]. [citado 20 de enero de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unica.es>.
23. Sainz C, Dinu A, Dicu T, Szacsvai K, Cosma C, Quindós LS. Comparative risk assessment of residential radon exposures in two radon-prone áreas, Stei (Rumania) and Torreledones (Spain). *Sci Total Environ*. julio de 2009;407(15):4452-60.
24. Quindós LS, Fernandez PL, Soto J. National survey of indoor radon in Spain. *Environ Int* 1991b;17:449-53.
25. García-Talavera M, Martín JL, Gil R, García JP, Suárez E. El mapa predictivo de exposición al radón en España. Consejo de Seguridad Nuclear. Colección Informes Técnicos. Madrid, 2013.
26. Suárez Mahou E, Fernández Amigot J, Baeza Espasa A, Moro Benito MC., García Pomar D., Moreno del Pozo J, Lanaja del Busto JM. 2000. Proyecto MARNA. Mapa de Radiación Gamma Natural. In: CSN (ed.) Colección Informes Técnicos. Madrid.
27. Darby, S.; Hill, D.; Deo, H.; Auvinen, A.; Barros-Dios, J.M.; Baysson, H.; Bochicchio, F.; Falk, R.; Farchi, S.; Figueiras, A.; 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; 32:1-84.
28. Veloso B, Rocha J, Fonseca M. Lung cancer and indoor radon exposure in the north of Portugal. An ecological study. *Cancer Epidemiol*. 2012; 36:e26-e32.
29. Ministerio de sanidad. Mortalidad atribuible a la exposición a radón residencial en España. Informes, estudios e investigación. Ministerio de sanidad. Madrid, 2021.
30. Grzywa-Celińska A, Krusiński A, Mazur J, Szewczyk K, Kozak K. Radon—The Element of Risk. The Impact of Radon Exposure on Human Health. *Toxics* 2020, 8(4), 120; [Internet]. [citado 20 de enero de 2025]. <https://doi.org/10.3390/toxics8040120>.
31. Pulliam HR, Springer SD, Rice DL, Ende GC, Johnson HJ, et al. Neurotoxic effects of home radon exposure on oscillatory dynamics serving attentional orienting in children and adolescents. *Neuroimage*, 2024;15; 292:120606.
32. Llerena JJ, Cortina D, Durán I, Sorribas R. 222Rn concentration in public secondary schools in Galicia (Spain). *J Environ Radioact*. noviembre de 2010;101(11):931-6.
33. Instituto Nacional de Estadística (INE). Estadística de Profesionales Sanitarios Colegiados. Año 2023. [Internet]. [citado 20 de enero de 2025] Disponible en: <https://www.ine.es/dynt3/inebase/es/index.htm?padre=11192&capsel=11193>.
34. Frutos Vázquez B, Olaya Adán M. Protección frente a la inmisión de gas radón en edificios. Colección Informes Técnicos 24.2010. Consejo de Seguridad Nuclear. [Internet]. [citado 20 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04.20+Proteccion%C3%B3n+frente+a+la+inmision%C3%B3n+de+gas+rad%C3%B3n+en+edificios>.
35. Ruano-Ravina A, Narocki C, López-Jacob MJ, García Oliver A, Calle Tierno M, Peón-González J, et al. Indoor radon in Spanish workplaces. A pilot study before the introduction of the European Directive 2013/59/Euratom. *Gac Sanit*. noviembre de 2019;33(6):563-7.
36. Marley F, Denman AR, Phillips PS. Examination of the influence of water-heated central heating systems on the levels of radon and radon progeny in the workplace. *Radiat Meas*. 1 de febrero de 2000;32(1):15-25.
37. 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*. julio de 2017;37(3):728-41.
38. Crespi Rotger S, Ordóñez Iriarte JM. La relevancia de la higiene del aire: una urgencia tras la pandemia de la COVID-19. *Rev. Salud ambient*. 2022; 22(1):81-90.
39. García Nieto A, Marta Morales I. Calidad del aire interior en edificios de uso público. Dirección General de Salud Pública. Madrid: Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid. 2019.
40. Fischhoff, B.; Bostrom, A.; Quadrel, M.J. Risk perception and Communication. *Annu. Rev. Pub. Health*. 1993. 14: 183-203. [Internet]. [citado 20 de enero de 2025]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8323585/>.
41. Tushe K. et al. Results of Albania public opinion survey on radon risk perception. *RAP Conf. Proc*. 2022; 7:12-6.
42. Ministerio de Sanidad. Plan Nacional contra el radón. Ministerio de Sanidad, Madrid, 2024.