Salud, Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias. 2024; 3:.1145
doi: 10.56294/sctconf2024.1145

REVISIÓN SISTEMÁTICA

Radon-222, silent enemy of health: systematic review

Radón 222, enemigo silencioso de la salud: revisión sistemática

Radão 222, o inimigo silencioso da saúde: revisão Sistemática

William Pedro Verástegui-López[1], Percy Salazar-Matos[1], Wilder Abel Fernández-Campos[1], Gustavo Ernesto Zárate-Ruiz[1], Cristian Gumercindo Medina-Sotelo[1], Nilton Isaias Cueva-Quezada[1]

[1]Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú.

Citar como: Verástegui-López WP, Salazar-Matos P, Fernández-Campos WA, Zárate-Ruiz GE, Medina-Sotelo CG, Cueva-Quezada NI. Radon-222, silent enemy of health: Systematic review. Salud, Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias. 2024; 3:.1145. https://doi.org/10.56294/sctconf2024.1145

Recibido: 25-02-2024 **Revisado:** 01-06-2024 **Aceptado:** 14-08-2024 **Publicado:** 15-08-2024

Editor: Dr. William Castillo-González

ABSTRACT

Introduction: radon is a topic with little research in Perú, it is very relevant to do a study on it and show how radon affects the population.
Objective: analyze Radon 222, as a silent enemy of health through a systematic review.
Method: the systematic review article has a qualitative approach, the Prism methodology was used, and the analysis of the documents was from the search in specialized databases of Scopus, Web Of Science, Scielo and on the Internet, similar search strategies were applied through the Boolean operators AND and OR, two keywords were taken from a health thesaurus.
Results: show that a derivative of uranium is radon Rn 222 found in high concentrations in buildings, water, soil and especially in granite rocks. Radiation exposure and its adverse effects on respiratory health pose a significant risk to public health. Public policies in Perú are weak in relation to the issue.
Conclutions: that radon Rn 222 is a gas that silently affects Society and is a cause of cancer in the lung of humanity. Peru's nuclear power governing body has little up-to-date research on radon.

Keywords: Radon gas 222, Inhalation of radon gas, cancer and radon gas, Public Policy and Radon Gas; Radon Decay Products; Radon Progeny.

RESUMEN

Introducción: el radón es un tema con escasa investigación en Perú, resulta muy relevante hacer un estudio sobre ello y mostrar cómo afecta el radón a la población.
Objetivo: analizar el Radón 222, como enemigo silencioso de la salud mediante una revisión sistemática.
Método: el artículo de revisión sistemática tiene un enfoque cualitativo, se utilizó la metodología Prisma, y el analisis de los documentos fue a partir de la búsqueda en bases de datos especializados de Scopus, Web Of Sciencie, Scielo y en internet, se aplicaron similares estrategias de busqueda mediante los operadores booleanos AND y OR, dos palabras claves fueron tomadas de un tesauro de salud.
Resultados: muestran que un derivado del Uranio es el radón Rn 222 se encuentra en altas concentraciones en los edificios, el agua, el suelo y sobre todo en las rocas de granito. La exposición a la radiación y sus efectos perjudiciales en la salud respiratoria representan un riesgo significativo para la salud pública. Las políticas públicas en Perú se encuentran débiles con relación al tema.
Conclusión: el radón Rn 222 es un gas que afecta de forma silencioso a la Sociedad y es un causante de cáncer de pulmón de la humanidad. El ente rector de la energía nuclear en el Perú tiene poca investigación actualizada sobre el radón.

© 2024; Los autores. Este es un artículo en acceso abierto, distribuido bajo los términos de una licencia Creative Commons (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea correctamente citada

Palabras clave: Gas Radón 222; Inhalación de Gas Radón; Cáncer y Gas Radón; Políticas Públicas y Gas Radón; Productos de Desintegración del Radón; Progenie del Radón.

RESUMO

Introdução: o rádon é um tópico com pouca pesquisa no Peru, é muito relevante fazer um estudo sobre ele e mostrar como o radônio afeta a população.
Objetivo: analisar o radão 222, como inimigo silencioso da saúde, através de uma revisão sistemática revisão sistemática.
Método: o artigo de revisão sistemática tem uma abordagem qualitativa, foi utilizada a metodologia Prism, e a análise análise dos documentos foi a partir da busca em bases de dados especializadas Scopus, Web Of Science, Scielo e na Internet, foram aplicadas estratégias de busca semelhantes semelhantes foram aplicadas através dos operadores booleanos AND e OR, duas palavras-chave foram retiradas de um tesauro de saúde.
Resultados: mostram que um derivado do urânio é o rádon Rn 222, encontrado em altas concentrações em edifícios, água, solo e especialmente em rochas graníticas. A exposição à radiação e os seus efeitos adversos na respiratórios representam um risco significativo para a saúde pública. As políticas públicas no As políticas públicas no Peru são fracas em relação a esta questão.
Concluise: que o rádon Rn 222 é um gás que afecta silenciosamente a sociedade e é uma causa de cancro no pulmão da humanidade. O órgão regulador da energia nuclear do Peru tem pouca investigação actualizada sobre sobre o rádon.

Palavras-chave: Gás Radão 222; Inalação de Gás Radão; Cancro e Gás Radão; Políticas públicas; e gás rádon; Produtos de decaimento do rádon; Progénie do rádon.

INTRODUCCIÓN

El radón, un elemento químico con símbolo Rn y número atómico 86, es un gas noble que se encuentra en la tabla periódica. Se forma a partir de la desintegración del uranio en el suelo y se libera en forma de gas. Debido a su estado gaseoso, no puede ser detectado por los seres humanos, ya que carece de color, olor y sabor. Dado que muchas rocas contienen uranio, pueden generar radón como parte de su proceso de desintegración (Rizo y Echarri, 2020).

Segun (United Nations, 2008) la cantidad de radiación estimada que recibe una persona, corresponden a radiación natural en un año como promedio mundial es de 3,00 mSv y - 80 %. El radón, específicamente el isótopo 222Rn, es el más estable y tiene una vida media de 3,8 días (Bandeira y Marçalo, 2023a), tiene 40 isotopos con una vida física de 3,823 días (Kyu et al., 2019).

El riesgo asociado al radón y sus productos es aproximadamente cien veces mayor que el riesgo causado únicamente por el radón (Kyu et al., 2019), es el segundo elemento que produce cáncer en las personas (Beltrán et al., 2023) la exposición a esta sustancia genera alta probabilidad de cáncer, debido a que es un gas cancerígeno (Cholowsky et al., 2023). Según estimaciones, la proporción de casos de cáncer de pulmón atribuibles al radón varía entre el 3 % y el 14 % a nivel nacional. El radón se inhala y se acumula en las células que revisten las vías respiratorias, lo que puede causar daños en el ADN y llevar al desarrollo de cáncer de pulmón (Organización Mundial de la Salud, 2021).

El aire interior de los edificios se ve principalmente afectado por el radón que proviene del suelo y las rocas subyacentes (Al et al., 2022) debido a la relación entre la entrada típica y las tasas de dilución, la acumulación de radón en los edificios puede ser diez veces mayor que en la atmósfera, todo ello causado por los fenómenos de mezcla atmosférica (Yarmoshenko et al., 2022), también, las galerías de agua pueden contener concentraciones de gases tóxicos para la salud humana, como el radón (Santamarta et al., 2022); se tiene en cuenta, que la presencia de este gas en el agua es debido a la desintegración de elementos radiactivos como el uranio y el radio, cuyas concentraciones pueden variar dependiendo del origen geológico de la zona (Rojas et al., 2022), la prolongada exposición a estas sustancias puede ocasionar serios problemas de salud (Albazoni y Almayahi, 2022).

Vilcapoma et al. (2019) encontró altas concentraciones de Uranio alojadas en las fallas geológicas de los ríos de la ciudad de Lima, con una concentración media de 5,6 kBq/m3 en el suelo. La concentración de radón varía según las estaciones del año, siendo en invierno donde disminuye aproximadamente 2 veces su emisión normal. Durante el fenómeno del “Niño Costero”, aumentó la concentración de gas radón en los suelos volcánicos Quilmaná y Huarangal, cercanos a los ríos Chillón y Huaycoloro.

La importancia de la investigación radica en que hay pocas investigaciones relacionadas al tema en el Perú, además es un tema de los que pocos hablan. Ante ello surge la pregunta de investigación ¿de qué manera afecta el Radón 222 a las personas?

El objetivo del estudio fue analizar el Radón 222, como enemigo silencioso de la salud mediante una revisión sistemática, el cual se explica de la siguiente forma:

Importancia de gas radón

El radón es un elemento radiactivo que se forma a partir de la deficiencia del uranio y el torio, y es perjudicial para nuestro sistema respiratorio cuando se inhala (Medina et al., 2021). Sin embargo en su estado gaseoso ha sido considerado previamente como una herramienta útil para detectar de forma indirecta los precursores de terremotos, especialmente cuando se utiliza un detector ubicado a pocos metros bajo tierra en áreas con alta actividad sísmica (Rodal et al., 2021), se tiene al Centro de Investigación BMKG que ha iniciado investigaciones utilizando diferentes métodos, como la monitorización de las concentraciones de gas radón, la abundancia de este gas radiactivo en las aguas subterráneas y su corta vida media de 3,2 días permite detectar terremotos, (Agustya et al., 2021), la importancia de ello, radica en que los niveles de radón presentes en el lugar son considerablemente más altos que los recomendados por la OMS (100 Bq/m3) y superan el nivel sugerido de 300 Bq/m3 establecido por el reglamento EURATOM 2013/59 (García et al., 2023).

Características del Gas radón

El radón se caracteriza por tener una actividad radioactiva extremadamente alta (5,7 × 1 015 Bq/gr) y por ser imperceptible para los sentidos, ya que no tiene sabor, olor ni color. El radón es un subproducto de la desintegración del uranio-238 y se genera constantemente a partir del radio presente en el suelo, las rocas, el agua y otros materiales (Rodal et al., 2021), debido a su larga vida media radiactiva de 3,2823 días representa el mayor riesgo (Villalba et al., 2020).

Las estimaciones de flujo de GEI basadas en el Modelo de Transporte Reverso (RTM) también están influenciadas por los parámetros seleccionados para las correlaciones nocturnas de metano (CH4) y radón-222, como el período nocturno utilizado para las regresiones y el valor de corte R2 para evaluar la calidad del ajuste (Levin et al., 2021). Los sitios que se encuentran en rocas de granito ígneo presentan una mayor concentración de gas radón en el suelo y un mayor Índice de Potencial de Radón (GRP), lo que los clasificaba como zonas propensas al radón según los estándares internacionales (Nuhu et al., 2021). A diferencia de los óxidos, se ha observado que los fluoruros de radón y xenón son en su mayoría exergónicos. Esta característica se debe probablemente a la carga nuclear efectiva mucho mayor del flúor, lo cual estabiliza la polarización de los enlaces (Bandeira y Marçalo, 2023b).

Efectos del gas radón

A pesar de que se reconoce ampliamente que el radón-222 es la principal causa del cáncer de pulmón, el riesgo es aún mayor para las personas adictas al cigarro (Giraldo et al., 2022; Hameed et al., 2021; Papenfuß et al., 2023; Seo et al., 2019), tambien la radiación ionizante de partículas alfa emitida por el radón causa daño en el ADN de las células pulmonares (Khan et al., 2021), en Norteamérica, la presencia de gas radón radiactivo en los edificios residenciales ha ido empeorando con el tiempo, lo que expone a los ocupantes a una radiación de partículas aumentando el riesgo de cáncer de pulmón. Las nuevas viviendas contienen concentraciones mayores de radón y afectan mayormente a la población joven (Simms et al., 2021), según estudios, la evaluación de los niveles de gas radón en el suero de los individuos que padecen cáncer de pulmón es crucial para investigar las posibles conexiones entre estos casos y el impacto de la exposición a la guerra (Naji y Hassoon, 2021), por ello, el enfoque principal debería ser la evaluación de los posibles riesgos radiológicos para la salud humana, la elaboración de normas y directrices para el uso y, la gestión de los materiales de construcción que contienen conocimiento radiactivo natural (Yakhdani et al., 2021). Es de conocimiento que los cambios en las concentraciones de actividad del radón a lo largo del tiempo se ven afectados por las condiciones del medio ambiente, como la humedad, temperatura, presión, entre otros (Radulescu et al., 2022).

Políticas públicas de control en el Perú

El Instituto Nacional de Energía Atómica es el ente rector de la energía nuclear en el Perú, encargado de establecer, fomentar la investigación y aplicaciones nucleares, y mejorar el nivel de vida de la sociedad (Jáuregui, 2015). Las medidas de prevención del radón generalmente comienzan informando a la población sobre los riesgos que trae a la salud, después de ello; su eficacia se evalúa en función de la rapidez con la que la información persuade a las personas para que verifiquen sus propiedades (Cholowsky et al., 2021). El sistema de filtración de radón basado en tamices moleculares MS desarrollado por NU es una opción adecuada para su implementación en futuros experimentos ultrasensibles que utilizan gas SF6 (Marcelo et al., 2021).

La dosis efectiva es una medida utilizada para evaluar el impacto total de la exposición a la radiación en el cuerpo humano, se expresa en sieverts (Sv). Según la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), se estima un riesgo de cáncer del 5,5 % por cada 1 Sv de exposición (Seo et al., 2019), para medir la radiactividad ingerida, utilizaron métodos de bioensayo como el recuento de cuerpo entero o la medición

de la radiactividad en muestras de orina. En España, el nivel de referencia para el gas radón es de 300 Bq/m3 y se han establecido medidas para remediar la exposición en los edificios (Briones et al., 2023). Además, identificaron diferentes modelos para describir el transporte de radón en materiales porosos y su liberación de las estructuras, considerando mecanismos de migración y producción interna de radón (Di Carlo et al., 2023), se debe tener en cuenta al momento de la formulación de la politica publica.

METODO

El artículo, fue realizado en los meses de junio y julio de 2023, a través de un proceso de revisión sistemática de la literatura (M. Page et al., 2022) para el análisis del radón como enemigo silencioso se han seguido las pautas establecidas en la declaración PRISMA (Cajal et al., 2020; M. J. * Page et al., 2021).

Planificación

a) Durante la fase de planificación o previa, se dio importancia a los protocolos de búsqueda para recopilar de manera sistemática los artículos y extraer la información relevante.

b) Selección de los campos de busqueda, en esta etapa, se identificaron las fuentes de investigación, como las plataformas de Scopus, Web of Science y Scielo, y se seleccionaron todos los campos de búsqueda, centrándose en el título de los artículos.

c) Durante la elaboración de la cadena de búsqueda, se utilizaron estrategias en bases de datos como Scopus, Web of Science y Scielo. Se realizaron búsquedas en español e inglés utilizando operadores booleanos AND y OR. Se obtuvieron 16 511 resultados en Scopus, pero se filtraron y seleccionaron 26 artículos relevantes de acceso abierto y de los años 2019 al 2024. Las palabras clave utilizadas fueron radón y declaración PRISMA.

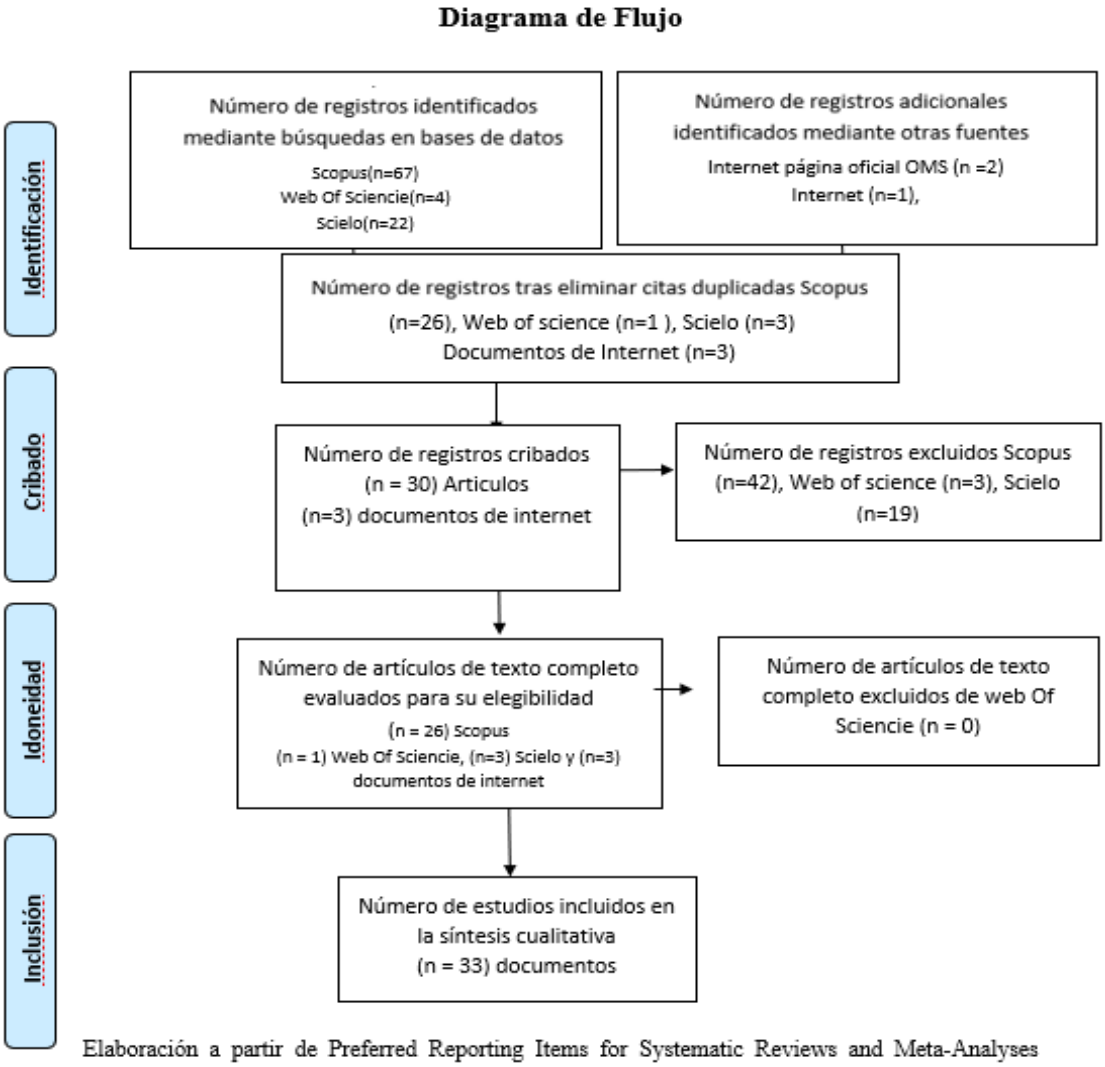

Figura 1. Diagrama PRISMA

Se realizó una búsqueda en Web of Science en español e inglés utilizando los operadores booleanos AND y OR con las palabras clave Radon OR Radon gas AND Perú, se aplicarón filtros y se seleccionaron artículos originales y de revisión en acceso abierto, publicados entre 2019 y 2023, y realizados en Brasil, Perú y Venezuela. Se encontraron un total de 4 artículos relevantes para la investigación.

Estrategia de búsqueda en Scielo: a traves de la busqueda avanzada se realizó el siguiente proceso: a) se aplico la búsqueda por inclusion el término Gas Radón y búsqueda en todos los campos; el cual solo arrojó una cantidad de 21 artículos, luego se cambio la estrategia y solo se utilize los operadores booleanos OR colocando el término Radón y, ello nos arrojó una cantidad de 22 artículos, los filtros aplicados se centraron en artículos de los últimos cinco años, y sobre todo que sean de acceso abierto los cuales fueron suficientes para completar la información. b) Se excluyeron otros documentos como libros, anuncios, etc., por no ser de interés para la investigación.

El presente artículo de revisión sistemática se enfoca en el análisis cualitativo del gas radón en el subsuelo y su relación con el cáncer. Se utilizó la metodología Prisma y se realizaron búsquedas en bases de datos especializados como Scopus, Web of Science y Scielo, así como en internet. Se seleccionaron 26 artículos de Scopus, uno de Web of Science y 5 artículos de Scielo, todos de acceso abierto y de los últimos cinco años. También se consideran dos páginas web oficiales y un artículo del año 2015 que contenía información relevante sobre el instituto de energía nuclear en Perú. Las palabras clave utilizadas fueron gas radón 222, subsuelo, inhalación de gas radón, cáncer, políticas públicas y gas radón.

DISCUSIÓN

Para sintetizar la evidencia de información extraida se presenta la pregunta general de la investigación ¿de qué manera afecta el Radón 222 a las personas?

Se tiene que los túneles de Serra Grossa y Monte Benacantil presentan niveles elevados de radón que superan los 300 Bq/m3, se recomienda implementar medidas de renovación del aire en el primer túnel y medidas mecánicas en el segundo. Además, las construcciones sobre roca caliza y con alto contacto con la tierra también acumulan niveles elevados de radón, a pesar de estar en zonas de bajo riesgo de exposición (United Nations, 2008).

Estudio de casos y controles de 13 países, la concentración de radón en interiores en zonas residenciales fue 100 Bq/m3 y por cada 100 Bq/m3 de aumento en la concentración de radón en interiores residenciales se asoció con un incremento del 16 % en el riesgo de muerte por cáncer de pulmón (Seo et al., 2019), tambien se encontró que la estructura del superóxido con enlace de espín mediado por el fragmento Ng es más reactivo y estable en comparación con sus estados de oxidación anteriores, lo que no tiene impacto en las personas (Bandeira y Marçalo, 2023a).

Asi tambien, los mineros expuestos a una edad temprana y a exposiciones bajas de radón tuvieron un mayor aumento en la tasa de mortalidad por cáncer de pulmón por unidad de (WLM). Según el informe UNSCEAR 2006, el exceso de riesgo relativo por 100 WLM fue de 0,59. Basado en estas determinaciones, se redujo el nivel máximo recomendado de radón interior de 600 Bq/m3 a 300 Bq/m3, correspondiendo a una dosis efectiva anual de 4 mSv en el lugar de trabajo y 14 mSv en el hogar (Kyu et al., 2019), la presencia de materia orgánica en el suelo enriquece la concentración de radón debido a su capacidad de liberarlo en el espacio poroso. En los sitios de muestreo sin carbonato de calcio, el coeficiente de emanación de radón es proporcional al contenido de materia orgánica y arcilla, lo que indica que el radón se adsorbe fácilmente en estos componentes del suelo (Beltrán et al., 2023).

La exposición al radón radiactivo en interiores es un problema de salud causado por prácticas de construcción que aumentan los niveles de radón a niveles peligrosos. En América del Norte, los niveles residenciales de radón han advertido que las nuevas propiedades que tienen un 72 % más de radón en comparación con las construcciones antiguas (Cholowsky et al., 2023). El radón es un gas radiactivo que se encuentra de forma natural y puede acumularse en altas concentraciones en espacios interiores como hogares y lugares de trabajo y su concentración en interiores se puede medir fácilmente utilizando detectores pasivos (Organización Mundial de la Salud, 2021). La concentración de radón (226Ra) en el área del río Eufrates oscila entre 0,0091 y 0,031 Bq.L-1, con un promedio de 0,0168 Bq.L-1. La estación St.10 tuvo la concentración más alta de radón, con 0,031 Bq.L-1, mientras que la estación St.21 presentó la concentración más baja, con 0,0091 Bq.L-1 (Al et al., 2022).

Si la concentración de Ra-226 en materiales de construcción es de 100 Bq/kg, la concentración de radón en el interior se mantendrá por encima del nivel de acción de 200 Bq/m3. Incluso para una concentración de Ra-226 de 50 Bq/kg, la concentración de radón seguirá estando por encima del valor de referencia de la OMS de 100 Bq/m3 (Yarmoshenko et al., 2022). Los resultados indican que las galerías de agua contienen concentraciones de gases tóxicos para la salud humana, como el radón que oscilan entre menos de 800 Bq/m3 y alrededor de 10,200 Bq/m3 (Santamarta et al., 2022).

Otros resultados revelan que el proceso de transferencia de OD es efectivo para eliminar el gas radón presente en las muestras de agua, con una reducción del 61 % en comparación con el valor inicial. El dato de

recepción fue de 1,5 ± 0,2 kBq-m-3 además, indican que los procesos de transferencia de OD desempeñan un papel importante en la remoción del gas radón en los cuerpos de agua (Rojas et al., 2022).

La concentración de gas radón en muestras de suelo y materiales de construcción varió entre 138,55 Bqm-3 y 735,40 Bqm-3. encontrando una concentración de 138,55 Bqm-3 en mármol iraní, mientras que la concentración más alta de 735,40 Bqm-3 se rompió en granito indio. Los niveles de humedad correspondientes fueron del 6,90 % y 11,60 %, respectivamente (Albazoni y Almayahi, 2022); el avance de la tecnología IoT ha tenido un impacto positivo en diversos aspectos de la vida humana. En particular, la vigilancia ambiental se ha vuelto cada vez más importante para las personas, ya que se busca controlar y prevenir riesgos para la salud, como el radón, que causa daños en los tejidos pulmonares (Medina et al., 2021).

Otro estudio sobre la vida útil de la fibra, han estimado que esta puede durar varias semanas e incluso meses sin sufrir daños significativos, debido a las bajas concentraciones de radón presentes en el suelo, a menos que haya actividad geológica (Rodal et al., 2021), la vigilancia de las concentraciones de gas radón como indicador de precursores de terremotos presenta diversas ventajas, una de ellas es la presencia de este gas radiactivo en las aguas subterráneas, cuya vida media es de 3,2 días (Agustya et al., 2021) las estimaciones de emisiones basadas en la técnica de acumulación nocturna utilizando el modelo de transporte y reacción (RTM) siempre serán inferiores a las emisiones totales reales de gases de efecto invernadero (GEI) en la zona de influencia de una estación, Además de ello muestra que el flujo de 222 Rn durante el invierno es hasta un 30 %, mas bajo que el promedio anual, mientras que el verano aumenta hasta un 26 % mas de lo normal estimado (Levin et al., 2021).

Los lugares con rocas de granito tienen mayor actividad de gas radón y potencial de riesgo de radón. El mapa de potencial geogénico de radón es útil para evaluar el riesgo y tomar medidas de reducción, siendo una herramienta importante en la planificación de estrategias contra el radón. (Nuhu et al., 2021); asi tambien, revelaron que la concentración más alta de 222 Rn fue de 157 Bq/m3 en la muestra de cigarrillos Macbeth de origen brasileño, mientras que la concentración más baja fue de 76,3 Bq/m3 en la muestra de cigarrillos Sumer de Origen iraq. El valor promedio de concentracion de 222 Rn fue de 106,53±22,3 Bq/m3 (Hameed et al., 2021).

También las pruebas de radón en propiedades residenciales en Suecia y Canadá se presentan en cuatro paneles, segun la encuesta, los niveles medios de radón y gráficas de puntos en función de la antigüedad de la propiedad (Khan et al., 2021), la tasa actual de exposición a la radiación de partículas provenientes del radón residencial en Canadá es de 4,08 mSv/aa partir de una concentración de 108,2 Bq/m3, y un 23,4 % de la población recibe dosis de 100- 2655 mSv, lo cual se sabe que aumenta el riesgo de cáncer en los seres humanos. Es importante destacar que las viviendas construidas en el siglo XXI están habitadas por personas más jóvenes, con una edad promedio de 46 años, y experimentan tasas más altas de exposición a la radiación del radón, alcanzando los 5,01 mSv/a (Simms et al., 2021), utilizaron un detector CR-39 para medir la concentración de radón en muestras de suero de pacientes con cáncer de pulmón y personas sanas. Los valores de concentración de radón en individuos sanos en la provincia de Babilonia variaron entre 0,4868 y 2,8192 Bq/m3, con una media de 1,7890 ± 0,8012 Bq/m3. (Naji y Hassoon, 2021).

La mayoría de las personas sin enfermedades crónicas viven en el primer piso o en la planta baja, en hogares con menos de 20 años de antigüedad y en villas (Yakhdani et al., 2021) según un estudio, el 75,2 % de los participantes creía que la exposición al radón afectaría su salud, mientras que solo el 12,1 % estaba en desacuerdo parcial y el 1,1 % en total desacuerdo (Cholowsky et al., 2021).

El radón-222 (222Rn), un isótopo producido a partir de la desintegración del uranio-238, es el más preocupante en términos de contaminación debido a su periodo de semidesintegración de 3,8 días (Marcelo et al., 2021). La concentración mundial promedio de radón en interiores se estima en 39 Bq m -3, pero varía con dureza según la región y el tiempo. Por lo tanto, una mayor concentración de radón en el aire conduce a una mayor dosis en el sistema respiratorio (Papenfuß et al., 2023) otro estudio de laboratorio, compararon tres tipos de monitores continuos de radón comerciales (Pylon, Alpha Guard y Radon Scout), determinaron que se puede medir las concentraciones de actividad del radón atmosférico con una incertidumbre asociada del 10 % (k=1). Los datos registrados se filtraron y dividieron en dos categorías: < 100 Bq m-3 y ≥ 100 Bq m3 (Radulescu et al., 2022).

Se tiene que, la concentración de radón en diferentes áreas de una casa varía según si hay o no ventilación. Sin ventilación, las concentraciones máximas superan el umbral recomendado por la OMS, mientras que con ventilación las concentraciones máximas son significativamente más bajas. Ello confirma la importancia de la ventilación para reducir la concentración de radón en interiores, con una eficiencia promedio del 62 % (Villalba et al., 2020) otra investigación sobre, las concentraciones de radón en el suelo mostraron una gran necesidad, con valores mínimos de 0,1 kBq/m3 y máximos de 64,3 kBq/m3. Varía entre 1,5 kBq/m3 en invierno y 11,9 kBq/m3 en primavera (Vilcapoma et al., 2019) tambien al bombear un pozo y recolectar muestras del agua proveniente del acuífero, encontraron concentraciones aún más altas de Rn 222 (391-593 Bq·L -1). Se cree que estas concentraciones excepcionalmente altas de Rn 222 en las aguas subterráneas se deben a la presencia de una geología granítica subyacente ya la prevalencia de fallas (Strydom et al., 2021), se consideró el articulo de (Jáuregui, 2015) por ser la unica revista que menciona al ente rector de la energia nuclear en el Perú.

Se tiene en cuenta que la tasa de producción de radón en la arena compacta y el hormigón es similar. Sin embargo, la concentración de actividad de radón difiere debido principalmente a la diferencia en la permeabilidad al aire, siendo mucho mayor en la arena compacta en comparación con el hormigón, con una diferencia de seis órdenes de magnitud (Di Carlo et al., 2023) y, la exposición al radón es el principal factor de riesgo para el cáncer de pulmón en personas no fumadoras y el segundo en fumadores (Giraldo et al., 2022), se confirmó que no existe una gestión pública adecuadaque promueva e investigue la Energía Nuclear en Perú (Jáuregui, 2015).

CONCLUSIONES

Se concluye que el radón (RN 222) es un gas silencioso que se produce a partir de la desintegración del uranio presente en rocas de granito, aguas termales y edificios con baja ventilación. Se encuentra en altos niveles en aguas subterráneas y su vida media es de 3,2 días. La exposición continua al radón es la segunda causa de cáncer a nivel mundial. Los niveles de radón no deben superar los 100 Bq/kg según la OMS y EPE. Las políticas públicas en Perú están experimentando un cambio lento debido a la gestión deficiente del ente rector encargado de la promoción e investigación de la energía nuclear.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos mostrar nuestro agradecimiento al Dr. Cristian Medina, por su valiosa contribución en la elaboración de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agustya M, Prayogo A, Nugraha J, Pakpahan S, Riama N (2021). Network of Radon Gas Concentration Monitoring of Research and Development Centre - BMKG for Earthquake Precursor Research in Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 873(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/873/1/012006

2. Al K, Al A, Abdul E, Abass A, Abd A (2022). Assessment of Radon gas concentration in Tap water supply of Haditha Town / west Al-Anbar Governorate / Iraq. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1080(1), 1–82. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1080/1/012002

3. Albazoni H, Almayahi B (2022). Determination of radon gas and lead ion concentrations in building materials using biosensors. International Journal of Radiation Research, 20(1), 245–248. https://doi.org/10.52547/ijrr.20.1.38

4. Bandeira N, Marçalo J (2023a). The inert pair effect on heavy noble gases: insights from radon tetroxide. Physical Chemistry Chemical Physics, 25(20), 14084–14088. https://doi.org/10.1039/d3cp01347b

5. Bandeira, N, Marçalo J (2023b). The inert pair effect on heavy noble gases: insights from radon tetroxide. Physical Chemistry Chemical Physics, 25(20), 14084–14088. https://doi.org/10.1039/d3cp01347b

6. Beltrán S, Szabó K, Tóth G, Tóth- Bodrogi E, Kovács T, Szabó C (2023). Estimated versus field measured soil gas radon concentration and soil gas permeability. Journal of Environmental Radioactivity, 265(June), 107224. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2023.107224

7. Briones C, Jubera J, Alonso H, Olaiz J, Santana J, Rodríguez-Brito N, Arriola-Velásquez, Miquel N, Tejera A, Martel P, González-Díaz E, Rubiano J (2023). Multiparametric analysis for the determination of radon potential areas in buildings on different soils of volcanic origin. Science of the Total Environment, 885(February). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163761

8. Cajal B, Jiménez R, Gervilla E, Montaño J (2020). La revisión sistemática en las ciencias de la salud. Clínica y Salud, 31, 77–83. https://doi.org/doi.org/10.5093/clysa2020a15

9. Cholowsky N, Chen J, Selouani G, Pett S, Pearson D, Danforth J, Fenton S, Rydz E, Diteljan M, Peters C, Goodarzi A (2023). Consequences of changing Canadian activity patterns since the COVID-19 pandemic include increased residential radon gas exposure for younger people. Scientific Reports, 13(1), 1–17. https://doi.org/10.1038/s41598-023-32416-8

10. Cholowsky N, Irvine J, Simms J, Pearson D, Jacques, W, Peters C, Goodarzi, A, Carlson L (2021). The efficacy of public health information for encouraging radon gas awareness and testing varies by audience age, sex and profession. Scientific Reports, 11(1), 1–12. https://doi.org/10.1038/s41598-021-91479-7

11. Di Carlo C, Maiorana A, Ampollini M, Antignani S, Caprio M, Carpentieri C, Bochicchio, F (2023). Models of radon exhalation from building structures: general and case-specific solutions. Science of the Total Environment, 885(January), 163800. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163800

12. García, D, Montoya M, Tan Y (2023). Understanding the Susceptibility of the Tropical Proglacial Environment in Peru Using Optical Imagery and Radon Measurements. Atmosphere, 14(3), 1–22. https://doi.org/10.3390/atmos14030568

13. Giraldo A, Ruano A, Rey J, Arias N, Candal C, Pérez M (2022). Lung cancer mortality trends in Colombia, 1985-2018. Revista Panamericana de Salud Publica/Pan American Journal of Public Health, 46, 1–7. https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.127

14. Hameed T, Omron A, Abbas S, Karim M (2021). Measurement of 222Rn gas Concentrations and Radon Exhalation Rates in Some Cigarettes Tobacco Samples. Iraqi Journal of Science, 62(11), 4300–4303. https://doi.org/10.24996/ijs.2021.62.11(SI).10

15. Jáuregui R (2015). Desconocimiento, desregulación, desinterés político y percepción de la energía nuclear como limitaciones para la implementación de un proyecto nucleoeléctrico en el Perú. Revista Gobierno Y Gestión Pública, 2(1), 10–26.

16. Khan S, Pearson D, Rönnqvist T, Nielsen M, Taron J, Goodarzi A (2021). Rising Canadian and falling Swedish radon gas exposure as a consequence of 20th to 21st century residential build practices. Scientific Reports, 11(1), 1–15. https://doi.org/10.1038/s41598-021-96928-x

17. Kyu J, Seo S, Woo Y (2019). Health effects of radon exposure. Yonsei Medical Journal, 60(7), 597. https://doi.org/10.3349/ymj.2019.60.7.597

18. Levin I, Karstens U, Hammer S, Dellacoletta J, Maier F, Gachkivskyi M (2021). Limitations of the radon tracer method (RTM) to estimate regional greenhouse gas (GHG) emissions - A case study for methane in Heidelberg. Atmospheric Chemistry and Physics, 21(23), 17907–17926. https://doi.org/10.5194/acp-21-17907-2021

19. Marcelo R, Spooner N, Berry J, Ezeribe A, Miuchi K, Ogawa H, Scarff A (2021). Test of low radioactive molecular sieves for radon filtration in SF 6 gas-based rare-event physics experiments. Journal of Instrumentation, 16(06), P06024. https://doi.org/10.1088/1748-0221/16/06/P06024

20. Medina A, Sánchez D, Alonso I (2021). An Internet of Thing Architecture Based on Message Queuing Telemetry Transport Protocol and Node-RED: A Case Study for Monitoring Radon Gas. Smart Cities, 4(2), 803–818. https://doi.org/10.3390/smartcities4020041

21. Naji, T, Hassoon S (2021). Measuring of Radon Gas Concentrations in serum samples of Lung cancer patients in Babylon governorate, Iraq. Journal of Physics: Conference Series, 1999(1), 012054. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1999/1/012054

22. Nuhu H, Hashim S, Saleh M, Sanusi M, Alomari A, Jamal M, Abdullah R, Hassan S (2021). Soil gas radon and soil permeability assessment: Mapping radon risk areas in Perak State, Malaysia. PLoS ONE, 16(7 July), 1–17. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254099

23. Organización Mundial de la Salud. (2021). OMS-El radón y sus efectos en la salud. OMS. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health

24. Page M, McKenziea J, Bossuytb P, Boutronc I, Hoffmannd T, Mulrowe C, Shamseerf L, Tetzlaffg J, Aklh E, Brennana S, Choui R, Glanvillej J, Grimshawk J, Bjartssonl A, Lalum M, Lin T, Lodero E, Mayo E, McDonald S, Alonso, S. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. Revista Espanola de Cardiologia, 74(9), 790–799. https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016

25. Page M, Mckenzie J, Bossuit P, Boutron I, Tammy H, Mulrow C, Shamsee L, Tetzlaff J, Aki E, Brenna S, Chou R, Glaville J, Grimshaw J, Hróbjartsson A, Lalu M, Li T, Loder E, Mayo E, McDonal S, Moher D (2022). A declaração PRISMA 2020: Diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. Epidemiologia e Servicos de Saude, 31(2), 1–12. https://doi.org/10.5123/S1679-49742022000200033

26. Papenfuß F, Maier A, Sternkopf S, Fournier C, Kraft G, Friedrich T (2023). Radon progeny measurements in a ventilated filter system to study respiratory-supported exposure. Scientific Reports, 13(1), 1–11. https://doi.org/10.1038/s41598-023-37697-7

27. Radulescu, I., Calin, M. R., Luca, A., Röttger, A., Grossi, C., Done, L., & Ioan, M. R. (2022). Intercomparison of commercial continuous radon monitors responses. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, 1021, 165927.

28. Rizo C, Echarri V (2020). Radon gas in the city of alicante. High risk of low indoor air quality in poorly ventilated buildings. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(23), 1–25. https://doi.org/10.3390/ijerph17238762

29. Rodal Y, Shemer A, Schwarz A, Ozana N, Zafrir H, Zalevsky Z (2021). Usage of fiber optics as an underground deployable radon gas detector. OSA Continuum, 4(12), 3026. https://doi.org/10.1364/OSAC.444262

30. Rojas N, Blanco C, Rojas S (2022). Influence of radon gas removal on the oxygenation of thermal water bodies in the Paipa-Boyacá area. Journal of Applied Research and Technology, 13, 374–381.

31. Santamarta J, Lario R, Morales Á, Cruz N (2022). How do CO2 and radon gases affect groundwater mining in the Canary Islands? Minig Mineração, 75(4), 337–344.

32. Seo S, Kang J, Lee D, Jin Y (2019). Health effects and consultations about radon exposure. Journal of the Korean Medical Association, 62(7), 376–382. https://doi.org/10.5124/jkma.2019.62.7.376

33. Simms J, Pearson D, Cholowsky N, Irvine J, Nielsen M, Jacques W, Taron J, Peters C, Carlson L, Goodarzi A (2021). Younger North Americans are exposed to more radon gas due to occupancy biases within the residential built environment. Scientific Reports, 11(1), 1–10. https://doi.org/10.1038/s41598-021-86096-3

34. Strydom T, Nel J, Nel M, Petersen R, Ramjukadh C (2021). The use of radon (Rn222) isotopes to detect groundwater discharge in streams draining table mountain group (tmg) aquifers. Water SA, 47(2), 194–199. https://doi.org/10.17159/wsa/2021.v47.i2.10915

35. United Nations (2008). UNSCEAR 2008 Report on Sources and Effects of Ionizing Radiation. In United Nations (Vol. 1).

36. Vilcapoma L, Herrera M, Pereyra P, Palacios D, Pérez B, Rojas J, Sajo-Bohus L (2019). Measurement of radon in soils of Lima city - Peru during the period 2016-2017. Earth Sciences Research Journal, 23(3), 171–183. https://doi.org/10.15446/esrj.v23n3.74108

37. Villalba P, Hidalgo D, Arco J, Villalba J (2020). Study of Radon concentrations in a single-family home and their relationship with the ventilation system. Revista de La Construccion, 19(3), 443–456.

38. Yakhdani M, Jalili M, Salehi-Abargouei A, Mirzaei M, Rahimdel A, Ebrahimi A (2021). Interaction of MS prevalence, radon gas concentration, and patient nutrition: a case–control study. Scientific Reports, 11(1), 1–15. https://doi.org/10.1038/s41598-021-96816-4

39. Yarmoshenko I, Onishchenko A, Malinovsky G, Vasilyev A, Zhukovsky M (2022). MODELING and justification of indoor radon prevention and remediation measures in multi-storey apartment buildings. Results in Engineering, 16(November). https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100754

FINANCIACIÓN

No existe financiación para el presente trabajo.

CONFLICTO DE INTERES

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: William Pedro Verástegui-López, Percy Salazar-Matos, Wilder Abel Fernández-Campos, Gustavo Ernesto Zárate-Ruiz, Cristian Gumercindo Medina-Sotelo, Nilton Isaias Cueva-Quezada.

Investigación: William Pedro Verástegui-López, Percy Salazar-Matos, Wilder Abel Fernández-Campos, Gustavo Ernesto Zárate-Ruiz, Cristian Gumercindo Medina-Sotelo, Nilton Isaias Cueva-Quezada.

Metodología: William Pedro Verástegui-López, Percy Salazar-Matos, Wilder Abel Fernández-Campos, Gustavo Ernesto Zárate-Ruiz, Cristian Gumercindo Medina-Sotelo, Nilton Isaias Cueva-Quezada.

Administración del proyecto: William Pedro Verástegui-López, Percy Salazar-Matos, Wilder Abel Fernández-Campos, Gustavo Ernesto Zárate-Ruiz, Cristian Gumercindo Medina-Sotelo, Nilton Isaias Cueva-Quezada.

Redacción-borrador original: William Pedro Verástegui-López, Percy Salazar-Matos, Wilder Abel Fernández-Campos, Gustavo Ernesto Zárate-Ruiz, Cristian Gumercindo Medina-Sotelo, Nilton Isaias Cueva-Quezada.

Redacción-revisión y edición: William Pedro Verástegui-López, Percy Salazar-Matos, Wilder Abel Fernández-Campos, Gustavo Ernesto Zárate-Ruiz, Cristian Gumercindo Medina-Sotelo, Nilton Isaias Cueva-Quezada.

https://doi.org/10.56294/saludcyt2024.1145

ANEXOS

Tabla 1. Analisis de los resultados

N°	Autor/Año	Categoría	Enfoque	Contexto o ámbito	Tipo de manuscrito	Revista	Indexación
1	Rizo y Echarri (2020)	Gas radón	Cuantitativo	España	Artículo original	International Journal of Environmental Research and Public Health	Scopus
2	United Nations.	Radiación Ionizante	Cualitativo	Estados Unidos	Informe a la Asamblea General con Anexos Científicos	United Nations (Vol. 1)	Pagina web oficial
3	Seo et al. (2019)	Exposición al radón	Cuantitativo	Korea	Artículo original	Journal of the Korean Medical Association, 62(7), 376-382	Scopus
4	Bandeira y Marçalo (2023)	Gases nobles	Cuantitativo	Portugal	Artículo Original	Physical Chemistry Chemical Physics	Scopus
5	Kyu et al. (2019)	Efectos del radón	Cuantitativo	China	Artículo Original	Yonsei Medical Journal, 60(7), 597	Scopus
6	Beltrán et al. (2023)	Concentración de radón	Cuantitativo	Hungria	Artículo Original	Journal of Environmental Radioactivity, 265(June), 107224	Scopus
7	Cholowsky et al. (2023)	Gas radón	Cuantitativo	America del Norte	Artículo Original	Scientific Reports, 13(1), 1-17	Scopus
8	Organización Mundial de la Salud (2021)	Gas radón	Cualitativo	EEUU	Informe de la OMS	Centro de prensa OMS	Página wef oficial
9	Al et al. (2022)	Gas radón	Cuantitativo	Iraq	Artículo original	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1080(1), 1-82	Scopus
10	Yarmoshenko et al. (2022)	medidas de prevención y remediación del radón	Cuantitativo	Rusia	Artículo Original	Results in Engineering, 16(November)	Scopus
11	Santamarta et al. (2022)	Gas radón	Cuantitativo	España	Artículo original	Minig Mineração, 75(4), 337-344	Scopus
12	Rojas et al. (2022)	Gas radón	Cuantitativo	Colombia	Artículo original	Journal of Applied Research and Technology, 13, 374-38.	Scopus
13	Albazoni y Almayahi (2022)	Determinación de gas radón	Cuantitativo	Iraq e Iran	Artículo original	International Journal of Radiation Research, 20(1), 245-248	Scopus
14	Medina et al. (2021)	Monitoreo de gas radón	Cuantitativo	España	Artículo original	Smart Cities, 4(2), 803-818	Scopus
15	Rodal et al. (2021)	Detector de gas radón	Cuantitativo	Israel	Artículo original	OSA Continuum, 4(12), 3026	Scopus

16	Agustya et al. (2021)	Concentración de gas radón	Cuantitativo	Indonesia	Artículo original	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 873(1)	Scopus
17	Levin et al. (2021)	Método trazador de radón	Cuantitativo	Alemania	Artículo original	Atmospheric Chemistry and Physics, 21(23), 17907–17926	Scopus
18	Nuhu et al. (2021)	Gas radón	Cuantitativo	Malasya	Artículo original	PLoS ONE, 16(7 July), 1–17	Scopus
19	Hameed et al. (2021)	Concentración de radón	Cuantitativo	Iraq	Artículo original	Iraqi Journal of Science, 62(11), 4300–4303	Scopus
20	Khan et al. (2021)	Exposición al gas radón	Cuantitativo	Canada y Suecia	Artículo original	Scientific Reports, 11(1), 1–15	Scopus
21	Simms et al. (2021)	Expuestos a gas radón	Cuantitativo	America del Norte	Artículo original	Scientific Reports, 11(1), 1–10	Scopus
22	Naji y Hassoon (2021)	Concentraciones de gas radón	Cuantitativo	Iraq	Artículo original	Journal of Physics: Conference Series, 1999(1), 012054	Scopus
23	Yakhdani et al. (2021)	Prevalencia de gas radón	Cuantitativo	Estados Unidos Irlanda, Noruega Suecia Gales Inglaterra	Artículo original	Scientific Reports, 11(1), 1–15	Scopus
24	Cholowsky et al. (2021)	Consientización sobre el gas radón	Cuantitativo	Canada	Artículo original	Scientific Reports, 11(1), 1–12.	Scopus
25	Marcelo et al. (2021)	Filtración de radón	Cuantitativo	Reino Unido	Artículo original	Journal of Instrumentation, 16(06), P06024	Scopus
26	Papenfuß et al. (2023)	Mediciones de progenie de radón	Cuantitativo	Alemania	Artículo original	Scientific Reports, 13(1), 1–11	Scopus
27	Radulescu et al. (2022)	Monitoreo del radón	Cuantitativo	Hulubei	Artículo original	Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, 1021, 165927	Web of Sciencie
28	Villalba et al. (2020)	Concentarción de radón	Cuantitativo	España	Artículo original	Revista de La Construccion, 19(3), 443–456	Scielo
29	Vilcapoma et al. (2019)	Medición de radón	Cuantitativo	Perú	Artículo original	Earth Sciences Research Journal, 23(3), 171–183	Scopus
30	Giraldo et al. (2022)	Mortalidad por cancer	Cuantitativo	Colombia	Artículo original	Revista Panamericana de Salud Publica/ Pan American Journal of Public Health, 46, 1–7	Scielo
31	Strydom et al. (2021)	Isótopos de radón (Rn222)	Cuantitativo	Sud Africa	Artículo original	Water SA, 47(2), 194–199	Scielo

32	Jáuregui R (2015)	Anergia nuclear	Cuantitativo	Perú	Artículo original	. Revista Gobierno Y Gestión Pública, 2(1), 10-26	Internet
33	Di Carlo et al. (2023)	Modelo de radón	Cuantitativo	EEUU	Artículo original	Science of the Total Environment, 885(January), 163800	Scopus

Analisis de la tabla 1 del cuadro se puede apreciar los siguientes resultados

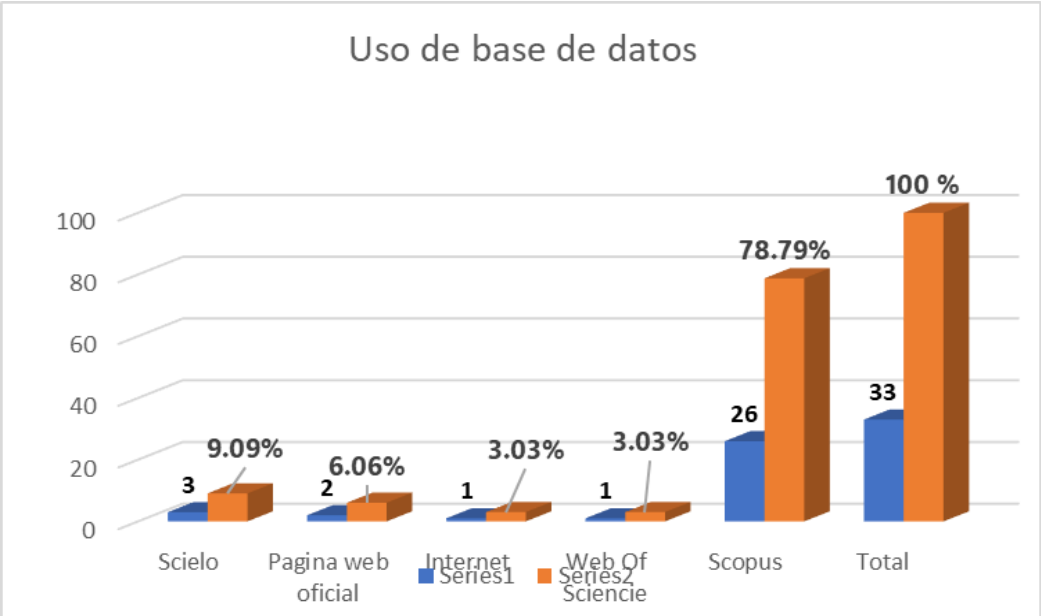

Figura 2. Nivel de uso de bases de datos especializados

En relación a las bases de datos se observa que el 78,79 % fueron artículos de Scopus, el 3,03 % son de Web Of Sciencie, el 3,03 % de fuentes de internet, el 6,06 %, páginas Web y 9,09 % corresponde a Scielo.

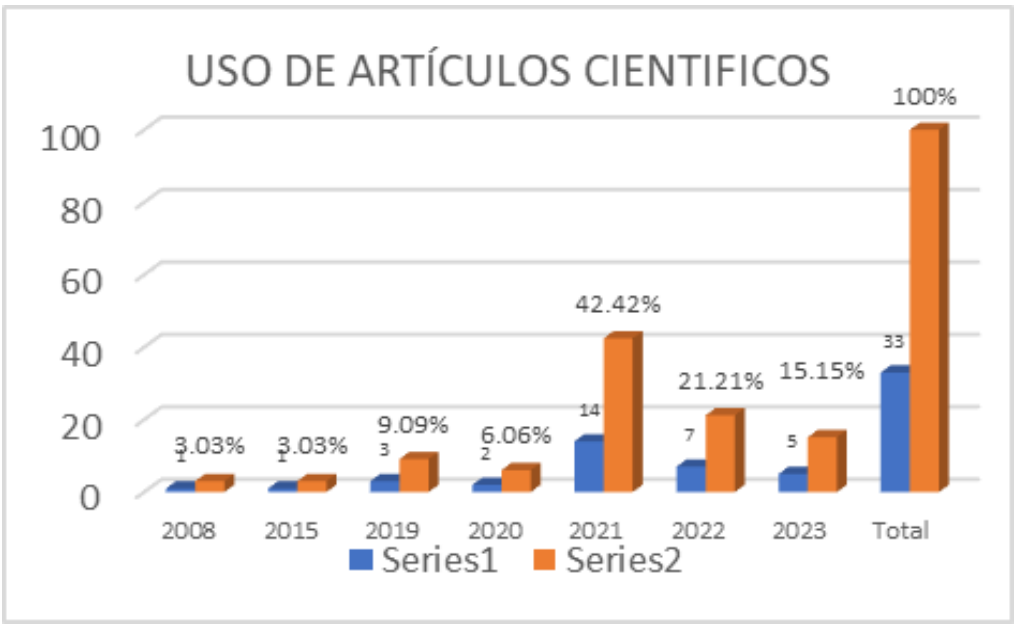

Figura 3. Frecuencia de uso de artículos científicos

En relación a los artículos por año de publicación se aprecia que el 3,03 % fue del 2008, 3,03 % del 2015, 9,09 % del 2019, 6,06 % del 2020, 42,42 % del 2021, 21,21 % del 2022 y el 15,15 % del 2023.

https://doi.org/10.56294/saludcyt2024.1145

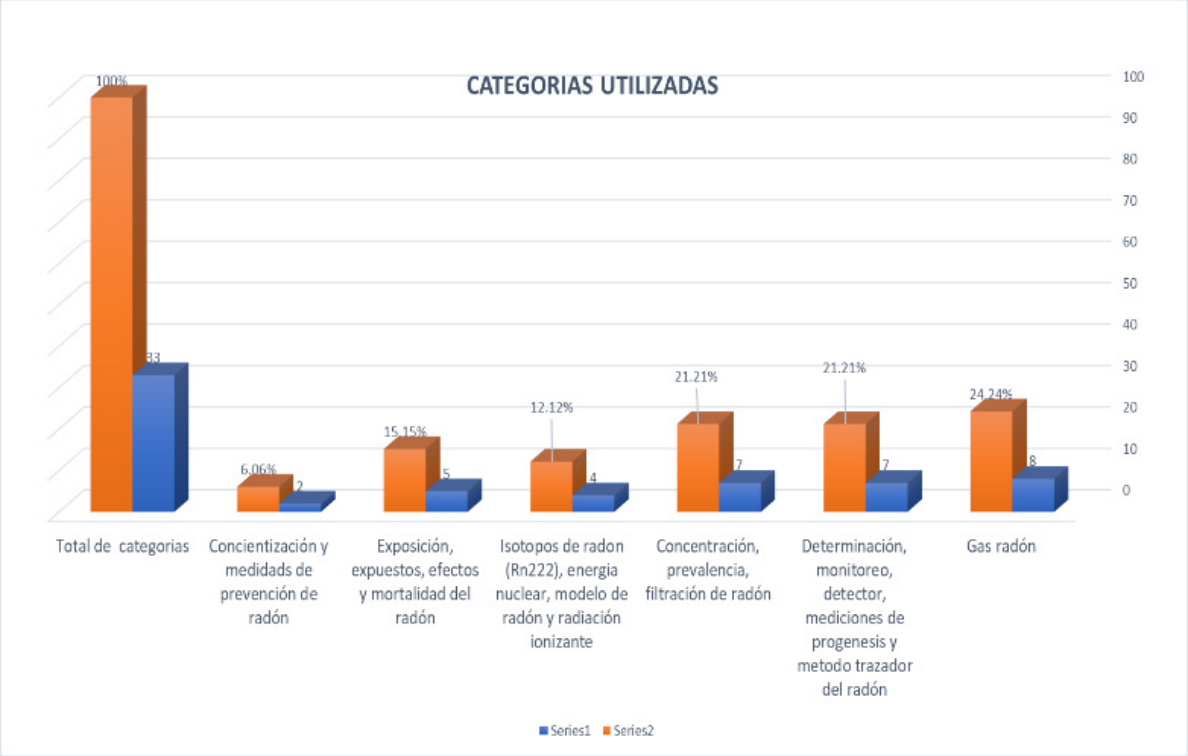

Figura 4. Distribución de las categorías

En relación a las categorías se agruparon en: gas radón, tiene 24,24 %, Determinación, monitoreo, detector, mediciones de progenesis y método trazador del radón 21,21 %, concentración, prevalencia, filtración de radón 21,21 %, Isotopos de radón (Rn222), energia nuclear, modelo de radón y radiación ionizante, 12,12 %, exposición, expuestos, efectos y mortalidad del radón 15,15 % y el 6,06 % corresponde a concientización y medidas de prevención del radón con 6,06 %, todas coinciden con el terminó del radón.

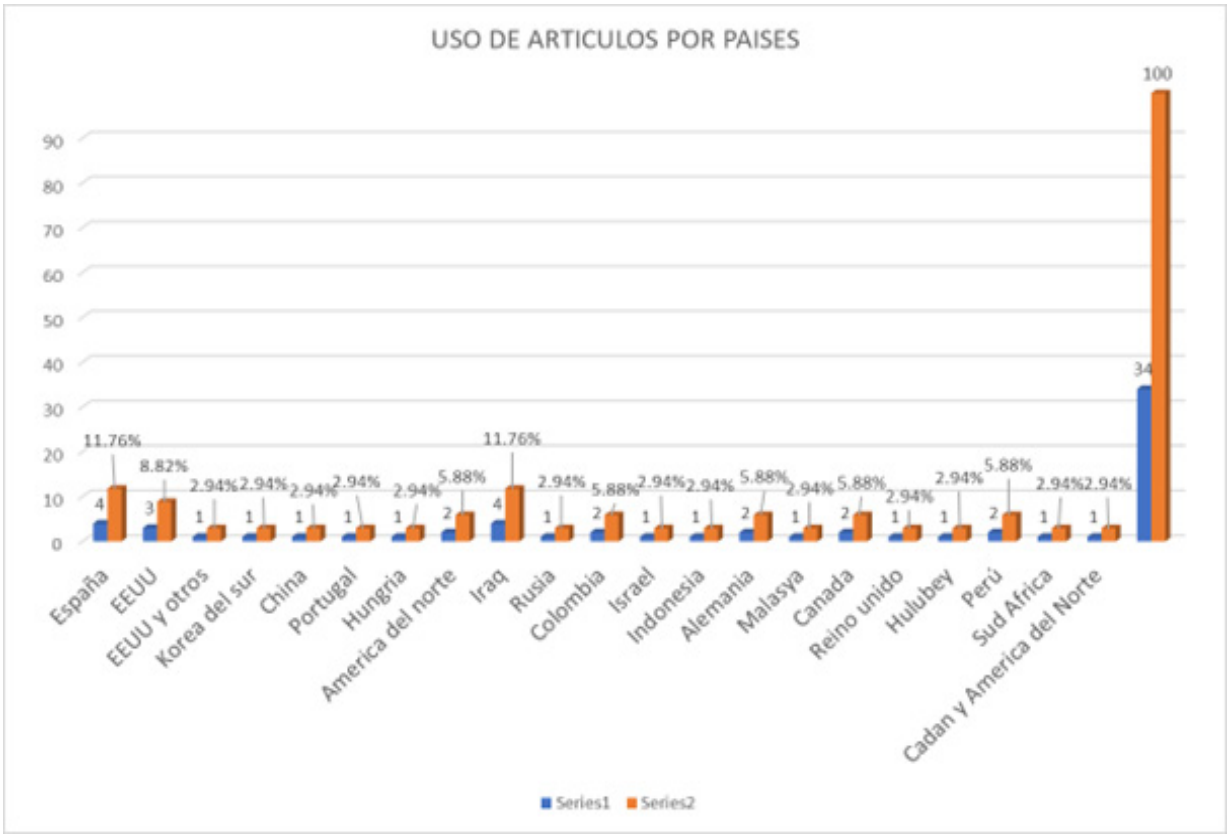

Figura 5. Uso de artículos por países

https://doi.org/10.56294/saludcyt2024.1145

En relación al uso de artículos se denota que España e Iraq tiene un 11,76 % EEUU y otros, Korea del sur, China, Portugal, Hungría, Rusia, Israel, Indonesia, Malasya, Reino unido, Hulubey, Sud África y Canada y América del Norte tienen un 2,94 % cada uno, EEUU tiene un 8.82, América del Norte 5,88 % Colombia Alemania Canadá Perú, los resultados demuestran la poca investigación del radón en el Perú.

Con respecto a los enfoques se evidencia que la mayoría de los trabajos son de enfoque cuantitativo con una mayoría del 93,94 % y un 6,06 % de enfoque cualitativo, lo que refiere la importancia de seguir investigando en el ámbito cualitativo.

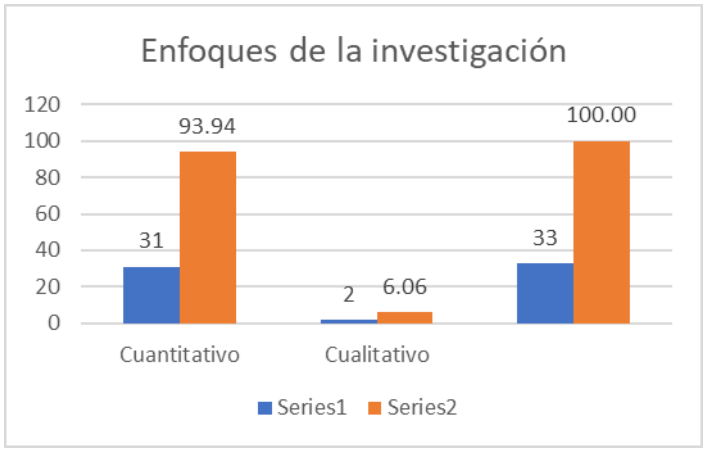

Figura 6. Enfoques de la investigación

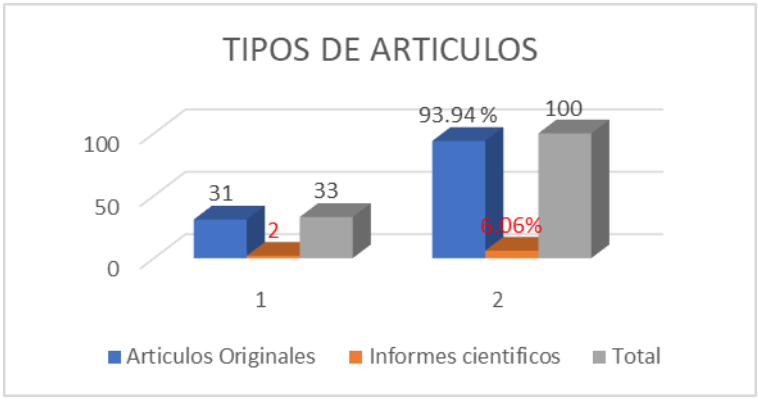

Figura 7. Tipos de manuscritos

Con respecto a los tipos de artículos se evidencia que la mayoría de los trabajos son artículos cuantitativos o originales del 93,94 % y un 6,06 % de enfoque cualitativo, que corresponde a informes científicos.

https://doi.org/10.56294/saludcyt2024.1145