

## ARTICULO REVISIÓN

**Impacto de la radiación en la salud: análisis de exposiciones ocupacionales y ambientales**

Health impact of radiation: analysis of occupational and environmental exposures

Impacto da radiação na saúde: análise de exposições ocupacionais e ambientais

**Camila Solange Naranjo-Coca<sup>1</sup>**  , **Joel Cueva-Yunga<sup>1</sup>**  , **Yajaira Montserrat Gavilánez- Velasco<sup>1</sup>**  , **Gerardo Emilio Medina-Ramírez<sup>1</sup>** 

<sup>1</sup>Universidad Regional Autónoma de Los Andes. Ambato, Ecuador.**Recibido:** 19 de diciembre de 2025**Aceptado:** 20 de diciembre de 2025**Publicado:** 23 de diciembre de 2025

**Citar como:** Naranjo-Coca CS, Cueva-Yunga J, Gavilánez- Velasco YM, Medina-Ramírez GE. Impacto de la radiación en la salud: análisis de exposiciones ocupacionales y ambientales. Rev Ciencias Médicas [Internet]. 2025 [citado: fecha de acceso]; 29(S1): e7007. Disponible en: <http://revcmpinar.sld.cu/index.php/publicaciones/article/view/7007>

**RESUMEN**

**Introducción:** la radiación constituye una herramienta esencial en la medicina; sin embargo, exposiciones que superan los límites de seguridad representan un problema relevante para la salud.

**Objetivo:** analizar los efectos de la radiación ionizante y no ionizante sobre la salud humana.

**Métodos:** se realizó una revisión de la literatura científica publicada en diferentes bases de datos. La búsqueda se realizó empleando un algoritmo que permitió la identificación de las fuentes, que una vez seleccionadas mediante los criterios de inclusión y exclusión, fueron debidamente analizadas de manera crítica. Se emplearon en la revisión aquellos artículos que, por su relevancia temática, calidad metodológica y actualidad, permitieron abordar la temática desarrollada.

**Desarrollo:** la evidencia muestra que la radiación ionizante genera daño directo e indirecto al ácido desoxirribonucleico, incrementando el riesgo de cáncer, alteraciones hematológicas y enfermedades cardiovasculares, tanto en exposiciones agudas como crónicas de baja dosis. La radiación no ionizante, aunque menos energética, se asocia a efectos térmicos y potenciales efectos no térmicos, especialmente neurológicos, aún en proceso de investigación. Se identifican fuentes naturales relevantes como el radón y la radiación cósmica, así como fuentes artificiales vinculadas a procedimientos médicos y actividades industriales. Asimismo, se destacan aplicaciones médicas beneficiosas, como la radioterapia y las técnicas de imagen, que requieren un uso controlado.

**Conclusiones:** la radiación aporta beneficios sustanciales en salud y desarrollo tecnológico, pero implica riesgos que exigen una gestión rigurosa. El fortalecimiento de la protección radiológica, la vigilancia de exposiciones y la educación son fundamentales para salvaguardar a trabajadores y población general.

**Palabras clave:** Efectos de la Radiación; Exposición a la Radiación; Evaluación del Impacto en la Salud; Radiación Ionizante; Radiación no Ionizante.

## ABSTRACT

**Introduction:** radiation constitutes an essential tool in medicine; however, exposures that exceed established safety limits represent a significant public health concern.

**Objective:** to analyze the effects of ionizing and non-ionizing radiation on human health.

**Methods:** a systematic literature review was conducted using scientific publications from specialized databases such as PubMed, Scopus, and Google Scholar. The search included terms related to ionizing radiation, non-ionizing radiation, health effects, and radiological protection. Studies were selected based on thematic relevance, methodological quality, and recency, followed by a critical and comparative analysis of the findings.

**Development:** the evidence indicates that ionizing radiation causes direct and indirect damage to deoxyribonucleic acid, increasing the risk of cancer, hematological disorders, and cardiovascular diseases, in both acute exposures and chronic low-dose exposures. Non-ionizing radiation, although less energetic, is associated with thermal effects and potential non-thermal effects, particularly neurological ones, which are still under investigation. Relevant natural sources such as radon and cosmic radiation were identified, as well as artificial sources linked to medical procedures and industrial activities. Additionally, beneficial medical applications, including radiotherapy and imaging techniques, were highlighted, all of which require controlled use.

**Conclusions:** radiation provides substantial benefits for health and technological development; however, it also entails risks that require rigorous management. Strengthening radiological protection, exposure monitoring, and education is essential to safeguard both workers and the general population.

**Keywords:** Radiation Effects; Radiation Exposure; Health Impact Assessment; Radiation, Ionizing; Radiation, Nonionizing.

## RESUMO

**Introdução:** a radiação constitui uma ferramenta essencial na medicina; entretanto, exposições que ultrapassam os limites de segurança representam um problema relevante para a saúde.

**Objetivo:** analisar os efeitos da radiação ionizante e não ionizante sobre a saúde humana.

**Métodos:** foi realizada uma revisão da literatura científica publicada em diferentes bases de dados. A busca foi feita utilizando um algoritmo que permitiu a identificação das fontes, que, uma vez selecionadas mediante critérios de inclusão e exclusão, foram devidamente analisadas de forma crítica. Foram incluídos na revisão os artigos que, por sua relevância temática, qualidade metodológica e atualidade, permitiram abordar adequadamente a temática desenvolvida.

**Desenvolvimento:** a evidência mostra que a radiação ionizante gera dano direto e indireto ao ácido desoxirribonucleico, aumentando o risco de câncer, alterações hematológicas e doenças cardiovasculares, tanto em exposições agudas quanto crônicas de baixa dose. A radiação não ionizante, embora menos energética, associa-se a efeitos térmicos e potenciais efeitos não térmicos, especialmente neurológicos, ainda em processo de investigação. Identificam-se fontes naturais relevantes como o radônio e a radiação cósmica, assim como fontes artificiais vinculadas a procedimentos médicos e atividades industriais. Destacam-se também aplicações médicas benéficas, como a radioterapia e as técnicas de imagem, que requerem uso controlado.

**Conclusões:** a radiação traz benefícios substanciais para a saúde e o desenvolvimento tecnológico, mas implica riscos que exigem gestão rigorosa. O fortalecimento da proteção radiológica, a vigilância das exposições e a educação são fundamentais para salvaguardar trabalhadores e a população em geral.

**Palavras-chave:** Efeitos da Radiação; Exposição à Radiação; Avaliação do Impacto na Saúde; Radiação Ionizante; Radiação não Ionizante.

## INTRODUCCIÓN

La radiación comprende un amplio espectro de fenómenos físicos que incluye tanto la radiación ionizante como la no ionizante, las cuales se diferencian principalmente por su nivel de energía y su capacidad de interactuar con la materia. Estas formas de radiación están presentes de manera natural en el ambiente y también son generadas artificialmente para múltiples aplicaciones científicas, médicas e industriales, lo que incrementa la relevancia de su estudio desde una perspectiva de salud pública.<sup>(1)</sup>

Cada tipo de radiación presenta mecanismos de interacción específicos con los tejidos biológicos, lo que determina la naturaleza y magnitud de sus efectos sobre la salud humana. Dichas interacciones dependen de factores como la dosis absorbida, el tiempo de exposición, la frecuencia de la radiación y la sensibilidad del tejido expuesto, generando respuestas biológicas que pueden ser reversibles o permanentes.<sup>(2)</sup>

La radiación ionizante se caracteriza por su capacidad para ionizar átomos y moléculas, lo que puede ocasionar daño celular directo o indirecto, particularmente a nivel del ácido desoxirribonucleico, favoreciendo la aparición de mutaciones, alteraciones cromosómicas y procesos carcinogénicos. En contraste, la radiación no ionizante posee menor energía y no produce ionización; sin embargo, puede inducir efectos térmicos y no térmicos en los tejidos biológicos, cuyos mecanismos fisiopatológicos continúan siendo objeto de investigación.<sup>(3,4)</sup>

En este contexto, el presente artículo tiene como finalidad analizar de manera integral los distintos tipos de radiación y sus efectos biológicos, con el propósito de aportar una base científica que facilite la comprensión de los riesgos y beneficios asociados a la exposición radiológica. Esta aproximación permite valorar tanto las aplicaciones beneficiosas de la radiación como la necesidad de implementar medidas adecuadas de protección y control para preservar la salud humana.<sup>(5,6)</sup> Teniendo en cuenta lo indicado, se realiza la presente revisión, la cual tuvo como objetivo analizar los efectos de la radiación ionizante y no ionizante sobre la salud humana.

## MÉTODOS

El presente estudio se diseñó como una revisión sistemática de la literatura, elaborada conforme a las directrices PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). El periodo de búsqueda se estableció entre enero de 2010 y diciembre de 2024, con el propósito de abarcar la evidencia más reciente y relevante sobre los efectos de la radiación ionizante y no ionizante en la salud humana.

Las fuentes de información incluyeron bases de datos biomédicas y multidisciplinarias de amplio reconocimiento: PubMed, Scielo, ScienceDirect, Google Scholar, Lilacs y BVSALUD. Asimismo, se revisaron referencias secundarias provenientes de listas bibliográficas de artículos clave y se consideró literatura gris (informes técnicos, documentos institucionales y guías de organismos internacionales) para complementar la información publicada en revistas científicas. Esta estrategia permitió integrar tanto evidencia primaria como documentos de referencia que aportan contexto regulatorio y metodológico.

La estrategia de búsqueda se definió mediante un algoritmo estructurado con palabras clave y operadores booleanos, adaptado a cada base de datos. Se emplearon términos como "ionizing radiation", "non-ionizing radiation", "health effects", "radiological protection", combinados con operadores AND y OR para ampliar o restringir la búsqueda según correspondiera. Se consideraron publicaciones en español, inglés y portugués, con el fin de garantizar una cobertura amplia y representativa de la literatura regional e internacional.

Los criterios de inclusión contemplaron artículos originales, revisiones y documentos técnicos publicados dentro del rango temporal definido, que abordaran de manera directa la relación entre radiación y salud humana. Se excluyeron duplicados, artículos sin acceso al texto completo, estudios irrelevantes para la temática y aquellos fuera del periodo de búsqueda. El proceso de selección se realizó en varias etapas: primero se efectuó la lectura de títulos y resúmenes para descartar registros no pertinentes; posteriormente, se evaluaron los textos completos de los estudios potencialmente elegibles. Inicialmente se identificaron aproximadamente 1 240 registros, de los cuales, tras la depuración y aplicación de criterios de exclusión, se seleccionaron 215 artículos para lectura completa. Finalmente, se incluyeron 32 estudios en la síntesis cualitativa.

Para la extracción y análisis de datos, se diseñó una matriz que recopiló variables clave: autor, año de publicación, diseño metodológico, población o muestra estudiada, tipo de exposición radiológica y resultados principales. La información se organizó de manera sistemática y se sometió a un análisis crítico comparativo. Se realizó una síntesis cualitativa de los hallazgos, dado que la heterogeneidad de los estudios en cuanto a diseño y resultados no permitió efectuar un metaanálisis cuantitativo. Esta aproximación garantizó una visión integral y coherente de la evidencia disponible, permitiendo identificar patrones comunes, vacíos de conocimiento y áreas prioritarias para futuras investigaciones.

## DESARROLLO

La radiación constituye un fenómeno físico ampliamente presente en el entorno natural y en múltiples actividades humanas, abarcando un espectro que incluye tanto radiación ionizante como no ionizante. Estas formas de energía electromagnética o corpuscular se diferencian por su capacidad de ionizar la materia, lo que determina en gran medida sus aplicaciones y sus posibles efectos sobre los sistemas biológicos. En las últimas décadas, el incremento del uso de tecnologías basadas en radiación ha generado un interés creciente en la evaluación de sus implicaciones para la salud humana.<sup>(7,8)</sup>

Desde el punto de vista biológico, la interacción de la radiación con los tejidos depende de diversos factores, como el tipo de radiación, la dosis absorbida, la duración de la exposición y la sensibilidad del tejido afectado. Estas interacciones pueden desencadenar respuestas celulares y moleculares complejas, que van desde adaptaciones transitorias hasta alteraciones estructurales permanentes. La comprensión de estos mecanismos resulta esencial para explicar la variabilidad de los efectos observados en individuos expuestos a diferentes fuentes de radiación.<sup>(9,10)</sup>

La radiación ionizante se distingue por su capacidad para producir ionización directa o indirecta de átomos y moléculas, lo que puede ocasionar daños significativos en componentes celulares críticos, especialmente en el material genético. Este tipo de radiación se ha asociado con un mayor riesgo de desarrollar neoplasias, trastornos hematológicos y enfermedades cardiovasculares, particularmente en contextos de exposiciones ocupacionales o médicas mal controladas. Por ello, su uso exige una estricta regulación y la aplicación de principios de protección radiológica.<sup>(11,12)</sup>

Por otro lado, la radiación no ionizante, aunque no posee energía suficiente para ionizar la materia, puede inducir efectos térmicos y posibles efectos no térmicos sobre los tejidos biológicos. Estas formas de radiación están presentes en fuentes naturales y en tecnologías de uso cotidiano, como sistemas de telecomunicaciones y dispositivos electrónicos. A pesar de que sus efectos sobre la salud aún son objeto de debate científico, su amplia distribución justifica la necesidad de continuar investigando sus posibles implicaciones y de establecer criterios claros para una exposición segura.<sup>(12)</sup>

La radiación constituye una forma de transferencia de energía que puede propagarse en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas, y su clasificación fundamental se basa en su capacidad para ionizar la materia. Desde el punto de vista biológico y sanitario, esta distinción resulta esencial, ya que la radiación ionizante posee la energía suficiente para remover electrones de los átomos y moléculas, generando alteraciones estructurales en los tejidos vivos, mientras que la radiación no ionizante actúa principalmente a través de mecanismos físicos y biofísicos sin producir ionización directa.

Dentro de la radiación ionizante, los rayos X y los rayos gamma representan las formas más ampliamente utilizadas en el ámbito médico, tanto en diagnóstico como en tratamiento. Estas radiaciones electromagnéticas de alta energía presentan una elevada capacidad de penetración tisular, lo que les permite atravesar diferentes densidades anatómicas. Su interacción con la materia biológica puede generar ionización directa del ADN o producir efectos indirectos mediante la formación de especies reactivas, lo que explica su utilidad clínica, pero también los riesgos asociados a exposiciones repetidas o a dosis elevadas.<sup>(13)</sup>

Otro grupo relevante de radiación ionizante está constituido por las partículas alfa y beta, emitidas por radionúclidos naturales y artificiales. Las partículas alfa, aunque presentan un alcance limitado en los tejidos debido a su elevada masa y carga, poseen una alta capacidad de ionización, lo que las hace particularmente dañinas cuando la fuente se incorpora al organismo. En contraste, las partículas beta tienen mayor poder de penetración y pueden atravesar capas superficiales de tejido, produciendo lesiones celulares y efectos biológicos dependientes de la dosis absorbida y del tiempo de exposición.<sup>(14)</sup>

La radiación no ionizante incluye un amplio espectro de longitudes de onda, entre las que destaca la radiación ultravioleta (UV), clasificada en UV-A, UV-B y UV-C. Cada una de estas categorías presenta diferentes niveles de energía y efectos biológicos. Mientras que la radiación UV-A se asocia principalmente con el fotoenvejecimiento cutáneo, la UV-B está directamente implicada en la inducción de eritema, quemaduras solares y carcinogénesis cutánea, y la UV-C, aunque altamente energética, es mayormente absorbida por la capa de ozono y no alcanza la superficie terrestre en condiciones normales.<sup>(15)</sup>

Asimismo, las microondas y las radiofrecuencias forman parte de la radiación no ionizante y son ampliamente utilizadas en sistemas de telecomunicaciones, dispositivos electrónicos y aplicaciones industriales. Aunque estas radiaciones no tienen capacidad ionizante, pueden inducir efectos térmicos derivados de la absorción de energía electromagnética por los tejidos, lo que puede generar elevación de la temperatura local. La posible existencia de efectos biológicos no térmicos continúa siendo objeto de investigación, especialmente en relación con exposiciones crónicas de baja intensidad.<sup>(16)</sup>

Las fuentes de radiación pueden ser naturales o artificiales. Entre las fuentes naturales destaca la radiación cósmica, cuya intensidad aumenta con la altitud y representa una preocupación relevante para tripulaciones aéreas y astronautas expuestos de manera prolongada.<sup>(17)</sup> El radón, un gas radiactivo producto de la desintegración del uranio presente en el suelo, constituye otra fuente significativa de exposición natural y se ha asociado de forma consistente con un incremento del riesgo de cáncer de pulmón, especialmente en ambientes interiores mal ventilados.<sup>(18)</sup>

Las fuentes artificiales de radiación incluyen las instalaciones nucleares, como las plantas de energía basadas en fisión nuclear, que generan electricidad pero implican riesgos potenciales relacionados con accidentes y liberación de material radiactivo.<sup>(19)</sup> En el ámbito sanitario, los dispositivos médicos representan una de las principales fuentes de exposición artificial, destacándose las radiografías convencionales y la tomografía computarizada, cuya contribución a la dosis poblacional total de radiación ionizante es considerable.<sup>(20)</sup>

Es importante señalar que no todas las tecnologías de imagen médica emplean radiación ionizante. La resonancia magnética nuclear (RMN) constituye una técnica avanzada que utiliza campos magnéticos intensos y ondas de radio para generar imágenes de alta resolución, especialmente útiles en la evaluación de tejidos blandos. Al basarse en las propiedades de los núcleos de hidrógeno, la RMN permite obtener información anatómica y funcional sin incrementar la carga de radiación ionizante, lo que la convierte en una herramienta diagnóstica segura y de gran valor clínico.<sup>(12,16)</sup>

Desde el punto de vista biológico, los mecanismos de daño inducidos por la radiación ionizante incluyen el daño directo al ADN, caracterizado por roturas de cadena simple o doble, y el daño indirecto mediado por radicales libres generados a partir de la radiolisis del agua celular. Estos procesos pueden desencadenar mutaciones, inestabilidad genómica y procesos de carcinogénesis.<sup>(21,22)</sup> En el caso de la radiación no ionizante, los efectos se asocian principalmente al calentamiento tisular, aunque se investigan posibles mecanismos no térmicos con implicaciones neurológicas y celulares.<sup>(23,24)</sup>

Finalmente, la exposición a la radiación tiene un impacto significativo en la salud humana, manifestándose en efectos agudos y crónicos. Las exposiciones agudas a dosis elevadas pueden provocar el síndrome de radiación aguda, con afectación de los sistemas gastrointestinal, hematopoyético y nervioso central.<sup>(25,26,27)</sup> A largo plazo, existe una relación bien establecida entre la exposición a radiación ionizante y el desarrollo de diversos tipos de cáncer, así como un incremento del riesgo de enfermedades cardiovasculares. No obstante, pese a estos riesgos, la radiación desempeña un papel fundamental en la medicina moderna, particularmente en la radioterapia oncológica, las técnicas de imagen diagnóstica y la radiología intervencionista, siempre bajo el marco de principios de protección radiológica y normativas internacionales que buscan maximizar los beneficios clínicos y minimizar los efectos adversos.<sup>(28,29,30)</sup>

## CONCLUSIONES

El impacto de la radiación sobre la salud humana es complejo y está condicionado por múltiples factores, entre los que destacan el tipo de radiación, la dosis absorbida y el tiempo de exposición. La evidencia científica demuestra que la radiación ionizante produce efectos agudos claramente establecidos y se asocia con riesgos crónicos relevantes, mientras que los efectos de la radiación no ionizante continúan siendo objeto de investigación, especialmente en relación con exposiciones prolongadas. En este contexto, la aplicación de medidas de protección radiológica y el cumplimiento de normativas internacionales resultan fundamentales para reducir la exposición y prevenir efectos adversos. Asimismo, la educación y la concienciación de la población y de los profesionales expuestos constituyen herramientas esenciales para una gestión adecuada del riesgo radiológico. Finalmente, debe resaltarse que, pese a los riesgos potenciales, la radiación aporta beneficios sustanciales en el ámbito médico, donde su uso controlado y seguro ha permitido avances significativos en el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades, contribuyendo de manera notable a la mejora de la salud y la calidad de vida de la población.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bushberg JT. The Essential Physics of Medical Imaging. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins[Internet]; 2011 [Citado 09/12/2025].Disponible en: <https://www.scribd.com>.
2. Hall EJ. Radiobiology for the Radiologist. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins[Internet]; 2006 [Citado 09/12/2025] .Disponible en: <https://eprints.poltekkesadisutjipto.ac.id/id/eprint/2055/1/Radiobiology-for-the-Radiologist.pdf>

3. Muller HJ. Artificial transmutation of the gene. *Science*. [Internet]. 1927 [Citado 09/12/2025];66(1699):84-87. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17802387/>
4. Smith Bindman R. Radiation dose associated with common computed tomography examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer. *Arch Intern Med* [Internet]. 2009 [Citado 09/12/2025];169(22):2078-2086. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20008690/>
5. Thorne MC, et al. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. *J Radiol Prot* [Internet]. 2007 [Citado 09/12/2025];27(3):199-219. Disponible en: [https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB\\_29\\_1-2](https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_29_1-2)
6. Valentin J. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann ICRP* [Internet]. 2007 [Citado 09/12/2025];37(2-4):1-332. Disponible en: [https://www.icrp.org/docs/icrp\\_publication\\_103-annals\\_of\\_the\\_icrp\\_37\(2-4\)-free\\_extract.pdf](https://www.icrp.org/docs/icrp_publication_103-annals_of_the_icrp_37(2-4)-free_extract.pdf)
7. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, National Research Council. *Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2*. Washington: National Academies Press [Internet]; 2006. [Citado 09/12/2025]. Disponible en: <https://www.nationalacademies.org/read/11340>
8. World Health Organization. *WHO Manual of Diagnostic Imaging: Radiographic Anatomy and Interpretation of the Musculoskeletal System*. Geneva: WHO Press [Internet]; 2003 [Citado 09/12/2025]. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9241545550>
9. National Research Council. *Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters: BEIR IV*. Washington: National Academies Press [Internet]; 1988 [Citado 09/12/2025]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25032289/>
10. Ainsbury EA. Radiation cataractogenesis: a review of recent studies. *Radiat Res*. [Internet]. 2009 [Citado 09/12/2025];172(1):1-9. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19580502/>
11. Brenner DJ. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: assessing what we really know. *Proc Natl Acad Sci U S A*. [Internet]. 2003 [Citado 09/12/2025];100(24):13761-13766. Disponible en: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2235592100>
12. Wakeford R. The cancer epidemiology of radiation. *Oncogene* [Internet]. 2004 [Citado 09/12/2025]; 23(38):6404-6428. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15322514/>
13. Hall EJ, Giaccia AJ. *Radiobiology for the Radiologist*. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins [Internet]; 2011 [Citado 09/12/2025]. Disponible en: <https://eprints.poltekkesadisutjipto.ac.id/id/eprint/2055/1/Radiobiology-for-the-Radiologist.pdf>
14. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann ICRP* [Internet]. 2007 [Citado 09/12/2025]; 37(2-4):1-332. Disponible en: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>
15. Armstrong BK, Kricker A. The epidemiology of UV induced skin cancer. *J Photochem Photobiol B* [Internet]. 2001 [Citado 09/12/2025];63(1-3):8-18. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11684447/>

16. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Phys.* [Internet]. 2020 [Citado 09/12/2025]; 118(5):483-524. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32167495/>
17. Cucinotta FA, Durante M. Cancer risk from exposure to galactic cosmic rays: implications for space exploration by human beings. *Lancet Oncol* [Internet]. 2006 [Citado 09/12/2025]; 7(5): 431-435. Disponible en: [https://www.thelancet.com/journals/lanonc/article/PIIS1470-2045\(06\)70695-7/abstract](https://www.thelancet.com/journals/lanonc/article/PIIS1470-2045(06)70695-7/abstract)
18. World Health Organization. WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. Geneva: WHO Press [Internet]; 2009 [Citado 09/12/2025] Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241547673>.
19. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. Vienna: IAEA [Internet]; 2014 [Citado 09/12/2025]. Disponible en: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1578\\_web-57265295.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1578_web-57265295.pdf)
20. Mettler FA, Upton AC. Medical Effects of Ionizing Radiation. 3rd ed. Philadelphia: Saunders Elsevier [Internet]; 2008 [Citado 09/12/2025]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/monograph/9780721602004/medical-effects-of-ionizing-radiation#book-info> .
21. Little MP. Radiation and circulatory disease. *Mutat Res* [Internet]. 2010 [Citado 09/12/2025]; 704(1-3): 158-161. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383574216300783>
22. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys* [Internet]. 1998 [Citado 09/12/2025]; 74(4):494-522. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9525427/>
23. Repacholi MH. Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* [Internet]. 1998 [Citado 09/12/2025]; 19(1):1-19. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9453702/>
24. Coleman CN. Medical management of the acute radiation syndrome: recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group. *Ann Intern Med* [Internet]. 2013 [Citado 09/12/2025]; 158(11): 829-840. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15197022/>
25. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York: United Nations [Internet]; 2000 [Citado 09/12/2025]. Disponible en: [https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000\\_1.html](https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_1.html)
26. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography—an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* [Internet]. 2007 [Citado 09/12/2025]; 357(22):2277-2284. Disponible en: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMra072149>

27. Shore RE. Radiation-induced skin cancer in humans. *Med Pediatr Oncol* [Internet]. 2001 [Citado 09/12/2025]; 36(5):549-554. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11340610/>
28. Preston DL. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat Res* [Internet]. 2007 [Citado 09/12/2025];168(1):1-64. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17722996/>
29. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2013 Report: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. New York: United Nations [Internet]; 2013 [Citado 09/12/2025]. Disponible en: [https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2013\\_1.html](https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2013_1.html)
30. National Council on Radiation Protection and Measurements. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. NCRP Report No. 160. Bethesda: NCRP [Internet]; 2009 [Citado 09/12/2025]. Disponible en: <https://ncrponline.org/publications/reports/ncrp-report-160/>