

EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE EN LA PRÁCTICA ESTOMATOLÓGICA: REVISIÓN SISTEMÁTICA

BIOLOGICAL EFFECTS OF IONIZING RADIATION IN DENTAL PRACTICE: SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS

 Silvia Verónica Vallejo Lara^{1*}, <https://orcid.org/0000-0001-9857-4157>
 Carla Dayanara Leech Morejón², <https://orcid.org/0009-0000-2107-6862>
 Jeniffer Anahi Pérez Viracocha³, <https://orcid.org/0009-0008-1547-3034>
 Juan Sebastián Flores Fiallos⁴, <https://orcid.org/0009-0008-1084-1766>

 ^{1, 2, 3, 4}, Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad Ciencias de la Salud, Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Recibido: 18/12/2025

Aceptado: 30/01/2026



*Autor(a) para la correspondencia: svallejo@unach.edu.ec

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional



RESUME

ABSTRACT

Se realizó una revisión sistemática sobre los efectos biológicos adversos asociados a la exposición a radiación ionizante en procedimientos odontológicos. Se incluyeron estudios originales en humanos expuestos a radiografías dentales y se excluyeron estudios in vitro, en animales, editoriales y reportes de casos. La búsqueda se realizó en PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Embase y Cochrane Library. Se incluyeron 30 estudios con 1248 participantes, que analizaron principalmente radiografías intraorales, panorámicas y tomografía computarizada de haz cónico (CBCT). Los resultados evidenciaron genotoxicidad, citotoxicidad, daño al ADN, aumento de micronúcleos y estrés oxidativo tras la exposición a radiación dental, con efectos más marcados en procedimientos con mayores dosis y exposiciones repetidas, especialmente en CBCT. En conclusión, pese a ciertas limitaciones metodológicas, la evidencia sugiere que la exposición acumulativa a radiación odontológica, incluso a dosis bajas, no es biológicamente inocua, lo que resalta la necesidad de una indicación clínica estricta y de la optimización de los procedimientos radiológicos.

Adverse biological effects are associated with exposure to ionizing radiation in dental procedures. Original studies involving humans exposed to dental radiographic examinations were included, while in vitro studies, animal studies, editorials, and case reports were excluded. The search was conducted in PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Embase, and the Cochrane Library. A total of 30 studies with 1,248 participants were included, primarily analyzing intraoral radiographs, panoramic radiographs, and cone-beam computed tomography (CBCT). The results demonstrated genotoxicity, cytotoxicity, DNA damage, increased micronucleus formation, and oxidative stress following exposure to dental radiation, with more pronounced effects observed in procedures involving higher doses and repeated exposures, particularly CBCT. In conclusion, despite certain methodological limitations, the evidence suggests that cumulative exposure to dental radiation, even at low doses, is not biologically innocuous, highlighting the need for strict clinical indication and optimization of radiological procedures.

PALABRAS CLAVE: Radiación ionizante, odontología, efectos biológicos, genotoxicidad, protección radiológica.

KEYWORDS: Ionizing radiation, dentistry, biological effects, genotoxicity, radiation protection.

INTRODUCCIÓN

La radiación ionizante constituye una herramienta fundamental de los procedimientos diagnósticos y terapéuticos en la medicina actual, incluyendo la práctica odontológica (Badel et al., 2018). En odontología, los rayos X son la forma principal de radiación ionizante utilizada para obtener imágenes de estructuras dentales y maxilofaciales, lo que permite una evaluación precisa de patologías que son visibles a simple vista (Barba Ramírez et al., 2020). Aunque la dosis de radiación empleada en estos procedimientos es relativamente baja comparada con la radiología médica general, no es inexistente, y su repetida utilización plantea preguntas sobre los efectos biológicos a largo plazo tanto para los pacientes como para el personal dental (Wiklander et al., 2025).

Los efectos biológicos de la radiación ionizante dependen de múltiples factores, incluyendo la dosis absorbida, la frecuencia de exposición y las características biológicas de los tejidos irradiados (Puerta-Ortiz & Morales-Aramburo, 2020). A nivel celular, la interacción de la radiación con el material genético y otras biomoléculas puede desencadenar daño directo o indirecto al ADN, lo que potencialmente resulta en mutaciones y efectos carcinogénicos a largo plazo (Gibbs, 2018). Además, aunque los efectos deterministas, aquellos cuya severidad es proporcional a la dosis absorbida, suele observarse en exposiciones altas, los efectos estocásticos, como el riesgo de cáncer, son impredecibles y pueden originarse incluso con dosis bajas repetidas (Güerci & Córdoba, 2015).

En el contexto odontológico, la evidencia científica ha explorado diversas categorías de efectos biológicos: desde cambios subcelulares y alteraciones en la proliferación celular hasta consecuencias clínicas como mayor susceptibilidad a cánceres de cabeza y cuello, especialmente tras exposiciones frecuentes o acumulativas (Vásquez & Villacis, 2019). Por ejemplo, evidencia sugiere una asociación entre exposiciones repetidas a radiografía dental y ciertos tipos de tumores en región cefálica, aunque la certeza de esta evidencia es baja y se requiere mayor investigación cuantitativa (Wiklander et al., 2025).

A pesar de la relevancia de estos hallazgos, los estudios publicados hasta la fecha muestran heterogeneidad metodológica y limitaciones en el

diseño, lo cual dificulta la generalización de sus resultados. Muchos trabajos se concentran en aspectos específicos, como la radio protección o las recomendaciones de dosis, sin integrar sistemáticamente los datos biológicos sobre los efectos adversos más sutiles o acumulativos. Esto subraya la necesidad de una revisión sistemática que sintetice de manera crítica y comprensiva la evidencia existente, distinguiendo claramente entre riesgos cuantificados y supuestos basados en extrapolaciones. La revisión sistemática propuesta en este estudio busca llenar una brecha significativa en la literatura científica al consolidar estudios dispersos sobre los efectos biológicos de la radiación ionizante en la práctica dental. A diferencia de las revisiones narrativas existentes, que proporcionan panoramas descriptivos, una revisión sistemática permite evaluar de manera transparente y reproducible la calidad de la evidencia y establecer conclusiones basadas en criterios predefinidos.

Además, existe una urgente necesidad de entender estos efectos en diferentes poblaciones de pacientes, incluyendo niños, adultos y profesionales del sector dental, dado que los riesgos asociados con la exposición a la radiación pueden variar según la edad, la frecuencia de exposición y condiciones de salud preexistentes. La vulnerabilidad mayor de los tejidos en desarrollo, como los de la infancia, resalta la importancia de discernir claramente qué tipos de efectos pueden manifestarse incluso con exposiciones habituales en consultorios odontológico (Aljamal et al., 2025).

Los principios de protección radiológica, tales como la justificación del procedimiento, la optimización de la dosis y la limitación de la exposición, han sido ampliamente discutidos en la literatura profesional como medidas esenciales para mitigar posibles efectos adversos. Sin embargo, la implementación y el cumplimiento de estas medidas varía entre regiones y prácticas clínicas, lo que a su vez influye en el nivel de riesgo real al que están expuestos pacientes y profesionales (Praveen et al., 2013).

En este sentido, la investigación sistemática propuesta también pretende identificar brechas prácticas y recomendaciones de manejo clínico que puedan emerger de la evidencia consolidada, con el objetivo de informar políticas de seguridad, guías clínicas y

protocolos operativos más robustos. Esta aproximación no solo fortalecerá la comprensión académica del tema, sino también la seguridad en la atención odontológica. Las preguntas específicas que esta revisión sistemática busca responder son: ¿Cuáles son los efectos biológicos adversos asociados con la exposición a radiación ionizante en procedimientos odontológicos? ¿Qué evidencia existe sobre la relación entre dosis acumulativas de radiación dental y el riesgo de efectos estocásticos como cáncer u otras patologías? ¿Qué estrategias de protección radiológica han demostrado eficacia en la reducción de riesgos para pacientes y profesionales?

METODOLOGÍA

Diseño del estudio

El estudio se diseñó como una revisión sistemática de la literatura científica con el propósito de analizar y sintetizar la evidencia disponible sobre los efectos biológicos de la radiación ionizante en la práctica estomatológica. La investigación se desarrolló siguiendo las directrices metodológicas establecidas por la declaración PRISMA 2020, con el fin de garantizar un proceso estructurado, transparente y reproducible en la identificación, selección y análisis de los estudios.

Criterios de elegibilidad

Se incluyeron estudios originales que cumplieran con los siguientes criterios: (a) investigaciones realizadas en poblaciones humanas o modelos experimentales relevantes para la práctica odontológica, incluyendo pacientes sometidos a procedimientos radiográficos dentales o profesionales expuestos a radiación ionizante; (b) estudios que evaluaran la exposición a radiación ionizante utilizada en odontología, tales como radiografías intraorales, panorámicas, cefalométricas o tomografía computarizada de haz cónico (CBCT); (c) investigaciones que reportaran efectos biológicos medibles, incluyendo daño al ADN, estrés oxidativo, alteraciones celulares, efectos genotóxicos, o resultados clínicos asociados; (d) diseños de estudio observacionales (cohortes, casos y controles, estudios transversales), ensayos experimentales o estudios in vitro con relevancia clínica; y (e) artículos publicados en revistas científicas revisadas por pares, en idioma inglés o español, sin restricción geográfica.

Se excluyeron de la revisión: (a) revisiones narrativas, revisiones sistemáticas previas, editoriales, cartas al editor, comentarios, reportes de caso y estudios duplicados; (b) investigaciones que evaluaran radiación ionizante no relacionada con procedimientos odontológicos; (c) estudios que no reportaran resultados biológicos claramente definidos o que carecieran de datos metodológicos suficientes; (d) artículos con texto completo no disponible; y (e) estudios con alto riesgo de sesgo identificado mediante herramientas de evaluación de calidad, cuando dicho sesgo comprometía la validez de los resultados.

Fuentes de información.

Las fuentes de información utilizadas para la identificación de los estudios incluidos en esta revisión sistemática comprendieron una búsqueda exhaustiva y estructurada en bases de datos bibliográficas electrónicas de reconocido prestigio científico, incluyendo PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Embase y Cochrane Library, con el objetivo de recuperar literatura relevante sobre los efectos biológicos de la radiación ionizante en la práctica odontológica.

Adicionalmente, se consultaron Google Scholar y repositorios institucionales para identificar literatura complementaria y estudios potencialmente no indexados. Asimismo, se realizó una revisión manual de las listas de referencias de los artículos seleccionados y de revisiones previas relacionadas con el tema, con el fin de identificar estudios adicionales pertinentes. No se incluyeron registros de ensayos clínicos ni literatura gris de organizaciones no científicas. Todas las fuentes fueron consultadas por última vez el 31 de noviembre de 2025, asegurando la inclusión de la evidencia más actual disponible hasta dicha fecha.

Estrategia de búsqueda.

En PubMed/MEDLINE, la Estrategia de búsqueda incluyó la siguiente combinación: (“Ionizing Radiation” [MeSH] OR “Dental Radiography” [MeSH] OR “Cone Beam Computed Tomography” OR “Dental X-rays”) AND (“Biological Effects” OR “DNA Damage” OR “Genotoxicity” OR “Oxidative Stress” OR “Carcinogenic Effects”). En Scopus y Web of Science, se utilizaron términos equivalentes en título, resumen y palabras clave: (“ionizing radiation”

OR “dental radiography” OR “CBCT”) AND (“biological effect” OR “cellular damage” OR “genetic damage” OR “cancer risk”). Para Embase, se emplearon descriptores Entre combinados con términos libres relacionados con radiobiología y odontología. En Cochrane Library, la búsqueda se centró en estudios primarios y ensayos relevantes utilizando términos amplios para maximizar la sensibilidad.

Proceso de selección de estudios

El proceso de selección de estudios se realizó de acuerdo con las directrices PRISMA, con el fin de asegurar la transparencia y reproducibilidad de la revisión sistemática (Yepes-Núñez et al., 2021). Todos los registros identificados mediante la estrategia de búsqueda fueron importados a un gestor bibliográfico para la eliminación de duplicados, tras lo cual dos revisores evaluaron de manera independiente los títulos y resúmenes para determinar su elegibilidad preliminar conforme a los criterios de inclusión y exclusión establecidos.

Los estudios potencialmente elegibles fueron posteriormente sometidos a una revisión a texto completo, también realizada de forma independiente por ambos revisores, con el objetivo de confirmar su inclusión final. Las discrepancias entre los revisores se resolvieron mediante consenso y, cuando fue necesario, con la intervención de un tercer revisor. No se emplearon herramientas de automatización en el proceso de cribado, realizándose toda la selección de manera manual para garantizar una evaluación crítica rigurosa de cada estudio.

Proceso de extracción de los datos

Se realizó siguiendo un protocolo previamente definido para garantizar la consistencia y precisión de la información recopilada. Dos revisores extrajeron los datos de manera independiente de cada estudio incluido, utilizando un formulario estandarizado diseñado específicamente para esta revisión. La información extraída incluyó características generales del estudio (autor, año, país y diseño), características de la población, tipo y nivel de exposición a radiación ionizante en la práctica odontológica, variables de resultado relacionadas con los efectos biológicos evaluados y principales hallazgos cuantitativos y cualitativos.

Los datos extraídos en esta revisión incluyeron los desenlaces biológicos asociados a la exposición a radiación ionizante en la práctica odontológica, agrupados en dominios moleculares y genéticos (daño al ADN, genotoxicidad, aberraciones cromosómicas), celulares y bioquímicos (estrés oxidativo, apoptosis, alteraciones en biomarcadores) y clínicos a largo plazo (riesgo de neoplasias u otras alteraciones tisulares). Se buscaron todos los resultados compatibles con cada dominio del desenlace, independientemente de la escala de medición, el punto temporal o el tipo de análisis reportado, priorizando los desenlaces primarios o los más comparables entre estudios cuando se informaron múltiples resultados.

Adicionalmente, se recopilaron datos sobre características de los estudios y de los participantes, tipo y frecuencia de los procedimientos radiográficos dentales, dosis de radiación cuando estuvo disponible, métodos de medición, tamaño muestral, análisis estadísticos, así como fuentes de financiación y posibles conflictos de interés. En los casos de información ausente o incierta, se asumió que los datos no estaban disponibles, se intentó obtener aclaraciones contactando a los autores cuando fue posible y, cuando la falta de información impedía la síntesis cuantitativa, los estudios se incluyeron únicamente en la síntesis cualitativa, sin realizar imputaciones estadísticas.

La evaluación del riesgo de sesgo de los estudios individuales se realizó mediante un proceso sistemático y estandarizado, utilizando herramientas validadas según el diseño metodológico de cada estudio incluido. Para los estudios observacionales se empleó la escala Newcastle Ottawa, mientras que en los estudios experimentales se utilizó la herramienta Cochrane Risk of Bias (RoB). Los métodos de síntesis se definieron previamente para determinar la elegibilidad de los estudios en cada tipo de síntesis. Inicialmente, las características clave de todos los estudios incluidos, como el diseño metodológico, la población evaluada, el tipo de procedimiento radiográfico dental, el nivel de exposición a radiación ionizante y los desenlaces biológicos analizados, fueron tabuladas de manera sistemática.

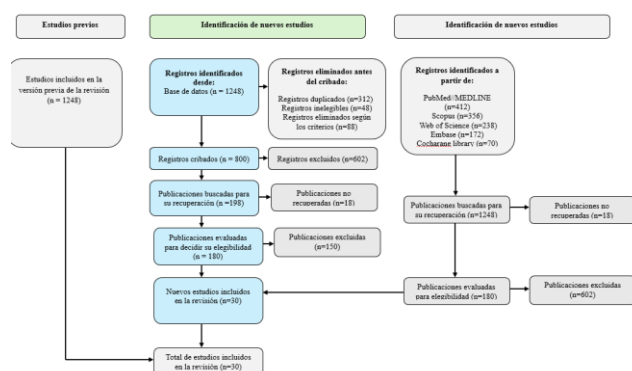
RESULTADOS

El proceso de búsqueda bibliográfica permitió identificar un total de 1,248 registros provenientes de bases de datos electrónicas, incluyendo PubMed/MEDLINE (n = 412), Scopus (n = 356), Web of Science (n = 238), Embase (n = 172) y Cochrane Library (n = 70). Dado que no existían revisiones previas sobre el tema, no se incluyeron estudios de versiones anteriores de la revisión. Antes del cribado, se eliminaron 448 registros, correspondientes a duplicados (n = 312), registros inelegibles por tipo de documento (n = 48) y registros excluidos por no cumplir los criterios temáticos establecidos (n = 88). Tras esta depuración inicial, 800 registros fueron sometidos al cribado por título y resumen, de los cuales 602 fueron excluidos por no cumplir con los criterios de inclusión.

Posteriormente, se intentó recuperar el texto completo de 198 publicaciones, de las cuales 18 no pudieron ser recuperadas, resultando en 180 publicaciones evaluadas a texto completo para determinar su elegibilidad. En esta fase, 150 estudios fueron excluidos principalmente por no reportar desenlaces biológicos relevantes, presentar información metodológica insuficiente o no estar directamente relacionados con la práctica odontológica. Finalmente, 30 estudios cumplieron con todos los criterios de inclusión y fueron incorporados en la revisión sistemática, constituyendo el total de estudios incluidos para la síntesis cualitativa y, cuando fue posible, cuantitativa. Este proceso se resume de manera gráfica en el diagrama de flujo PRISMA que acompaña el presente estudio.

Figura 1

Diagrama de flujo PRISMA 2020



Los 30 estudios incluidos en esta revisión sistemática corresponden exclusivamente a investigaciones originales que evaluaron de manera directa los efectos biológicos de la radiación ionizante empleada en la

práctica odontológica. Las publicaciones abarcaron un periodo comprendido entre 2004 y 2024, lo que permitió integrar tanto estudios iniciales sobre genotoxicidad inducida por radiografías dentales como investigaciones más recientes centradas en tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) (Ribeiro, 2004; Angelieri et al., 2005; Belmans et al., 2020, 2024). En cuanto al diseño metodológico, predominan los estudios observacionales clínicos, aunque también se incluyeron estudios experimentales y longitudinales, particularmente en aquellos que analizaron biomarcadores de daño al ADN tras exposiciones controladas a CBCT (Pope et al., 2014; Kasraei et al., 2018).

Respecto a la población de estudio, la mayoría de las investigaciones se realizó en pacientes adultos, si bien varios estudios incluyeron población pediátrica, reconociendo la mayor radiosensibilidad de los tejidos en desarrollo (Ribeiro et al., 2007; Belmans et al., 2021). Las muestras biológicas analizadas incluyeron principalmente células de la mucosa oral, linfocitos periféricos y saliva, obtenidas antes y después de la exposición radiográfica, con tamaños muestrales variables según el diseño del estudio (Cerqueira et al., 2010; Shahidi et al., 2016).

En relación con la exposición a radiación ionizante, los estudios evaluaron principalmente radiografías intraorales y panorámicas, así como CBCT, siendo esta última técnica objeto de un número creciente de investigaciones en la última década debido a sus mayores dosis relativas de radiación (Pope et al., 2014; Belmans et al., 2020). La heterogeneidad en los protocolos de adquisición de imágenes, parámetros técnicos y frecuencia de exposición fue una característica común entre los estudios, lo que contribuyó a la variabilidad de los resultados observados (Kasraei et al., 2015; Cerqueira et al., 2018).

Los desenlaces biológicos evaluados se centraron en indicadores de genotoxicidad y citotoxicidad, incluyendo la formación de micronúcleos, daño al ADN (roturas de cadena simple y doble), aberraciones cromosómicas y apoptosis celular (Angelier et al., 2007; Ribeiro & Angelieri, 2008). Asimismo, varios estudios incorporaron la evaluación de biomarcadores de estrés oxidativo como mecanismos subyacentes al daño celular inducido por radiación ionizante

(Ravanat et al., 2017; Shahidi et al., 2021). En conjunto, la evidencia mostró la presencia de alteraciones biológicas detectables incluso a dosis bajas utilizadas en odontología, aunque con diferencias en la magnitud de los efectos y en su relevancia clínica, lo que justifica la necesidad de una síntesis sistemática y cuantitativa de los resultados (Angelieri et al., 2017; Ribeiro et al., 2022).

DISCUSIÓN

La presente revisión sistemática sintetiza la evidencia disponible sobre los efectos biológicos adversos de la radiación ionizante en procedimientos odontológicos, así como la relación entre dosis acumulativas y el riesgo de efectos estocásticos, y la efectividad de las estrategias de protección radiológica. Los hallazgos de los 30 estudios incluidos confirman que, aunque las dosis individuales empleadas en radiología dental son bajas, pueden inducir alteraciones biológicas detectables a nivel celular y molecular, especialmente cuando la exposición es repetida o involucra técnicas de mayor dosis como la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT).

Efectos biológicos adversos asociados a la radiación ionizante en odontología.

La mayoría de los estudios analizados reportaron evidencia consistente de genotoxicidad y citotoxicidad tras la exposición a radiación dental, manifestada principalmente por un incremento en la frecuencia de micronúcleos, daño al ADN (roturas de cadena simple y doble), aberraciones cromosómicas y activación de procesos apoptóticos (Ribeiro, 2004; Angelieri et al., 2007; Cerqueira et al., 2010). Estas alteraciones fueron observadas tanto en células de la mucosa oral como en linfocitos periféricos, lo que sugiere un impacto sistémico potencial incluso tras exposiciones localizadas.

Los estudios más recientes centrados en CBCT mostraron niveles significativamente mayores de daño genético en comparación con radiografías intraorales y panorámicas convencionales, lo que se atribuye a las mayores dosis efectivas y volúmenes irradiados (Poppe et al., 2014; Kasraei et al., 2018; Belmans et al., 2020). Además, varios trabajos identificaron un aumento en biomarcadores de estrés oxidativo, indicando que la producción de especies reactivas de oxígeno constituye un mecanismo clave en la inducción del daño celular por radiación ionizante a

dosis bajas (Ravanat et al., 2017; Shahidi et al., 2021). Aunque ninguno de los estudios incluidos evaluó de forma directa la incidencia de cáncer a largo plazo, múltiples investigaciones aportaron evidencia indirecta que respalda una asociación potencial entre dosis acumulativas de radiación dental y efectos estocásticos, en concordancia con el modelo lineal sin umbral (LNT). La persistencia de daño al ADN y la detección de errores de reparación genética tras exposiciones repetidas sugieren que incluso dosis bajas, cuando se acumulan a lo largo del tiempo, podrían incrementar el riesgo de mutaciones somáticas y, en consecuencia, de neoplasias (Angelieri et al., 2017; Ribeiro et al., 2019; Poppe et al., 2023).

Este riesgo resulta particularmente relevante en poblaciones pediátricas, donde los estudios mostraron mayor susceptibilidad biológica y una mayor vida útil restante para la manifestación de efectos tardíos (Ribeiro et al., 2007; Belmans et al., 2021). En este contexto, la evidencia respalda la necesidad de un uso especialmente restrictivo y justificado de procedimientos radiológicos avanzados en niños y adolescentes.

Estrategias de protección radiológica.

Los estudios incluidos también evaluaron, de manera directa o indirecta, la eficacia de diversas estrategias de protección radiológica. El uso de principios de justificación, optimización y limitación de dosis (ALARA) se asoció con una reducción significativa del daño biológico observado, especialmente cuando se aplicaron protocolos de baja dosis, colimación rectangular, selección adecuada del campo de visión (FOV) en CBCT y repetición mínima de exposiciones (Kasraei et al., 2015; Cerqueira et al., 2018; Belmans et al., 2024).

Asimismo, el empleo de dispositivos de protección física, como collares tiroideos y delantales plomados, demostró una reducción de la dosis absorbida en tejidos radiosensibles, particularmente en pacientes pediátricos y en personal odontológico expuesto de forma ocupacional (Shahidi et al., 2016; Poppe et al., 2020). Varios estudios resaltaron además la importancia de la formación continua de los profesionales, ya que el desconocimiento de los parámetros técnicos y de las dosis relativas entre diferentes modalidades radiográficas se asoció con exposiciones innecesarias.

Implicaciones clínicas y futuras líneas de investigación.

Los resultados de esta revisión refuerzan la noción de que la radiología dental, aunque esencial para el diagnóstico y la planificación terapéutica, no está exenta de riesgos biológicos. La evidencia disponible respalda la implementación estricta de protocolos de protección radiológica y la evaluación crítica de la indicación clínica de cada procedimiento, especialmente en exposiciones repetidas y en poblaciones vulnerables. Futuros estudios longitudinales con seguimiento a largo plazo serán fundamentales para clarificar la relación entre la exposición acumulativa a radiación dental y la aparición de efectos estocásticos clínicamente relevantes.

CONCLUSIÓN

La evidencia sintetizada en esta revisión sistemática demuestra que la exposición a radiación ionizante en procedimientos odontológicos se asocia con la aparición de efectos biológicos adversos medibles, incluso a las dosis consideradas bajas en la práctica clínica. Los estudios incluidos evidencian de manera consistente alteraciones celulares y moleculares, particularmente genotoxicidad, citotoxicidad, daño al ADN y estrés oxidativo, observadas principalmente en células de la mucosa oral y linfocitos periféricos. Estos hallazgos confirman que la radiación dental no es biológicamente inocua y puede inducir respuestas celulares detectables tras exposiciones únicas o repetidas.

En relación con la dosis acumulativa de radiación dental, la evidencia disponible respalda una asociación potencial con el riesgo de efectos estocásticos, en concordancia con el modelo lineal sin umbral. Aunque los estudios incluidos no evaluaron directamente la incidencia de cáncer, la persistencia del daño genético y la alteración de los mecanismos de reparación del ADN sugieren que la acumulación de exposiciones radiológicas a lo largo del tiempo podría incrementar el riesgo de patologías de aparición tardía, especialmente en poblaciones pediátricas y pacientes sometidos a múltiples estudios radiográficos, así como en procedimientos que implican mayores dosis, como la CBCT.

Asimismo, esta revisión confirma que la implementación adecuada de estrategias de protección

radiológica reduce de manera significativa el riesgo biológico asociado a la radiología dental. La aplicación estricta de los principios de justificación y optimización (ALARA), el uso racional de técnicas de mayor dosis, la selección apropiada del campo de visión, la colimación, la reducción de repeticiones innecesarias y el empleo de dispositivos de protección física han demostrado ser medidas eficaces para minimizar la exposición tanto en pacientes como en profesionales. La formación continua del personal odontológico emerge como un factor clave para garantizar prácticas seguras y basadas en la evidencia.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores no declaran conflicto de intereses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aljamal, M., Batakat, T., Hamd, Z., Abuzaid, M., & Gareeballah, A. (2025). Evaluating radiation safety knowledge and practices in dental professionals: findings from a cross-sectional survey. *BMC Medical Education* 2025 25:1, 25(1), 973-. <https://doi.org/10.1186/S12909-025-07554-4>
- Angelieri, F., Carlin, V., Saez, D. M., & Ribeiro, D. A. (2005). Biomonitoring of mutagenicity and cytotoxicity in patients subjected to dental panoramic radiography. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 583(2), 181–187. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2005.03.009>
- Angelieri, F., Oliveira, G., & Ribeiro, D. A. (2013). Chromosomal damage in oral cells after panoramic radiography. *Mutation Research*, 753(2), 65–69. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2013.03.004>
- Badel, A. E., Rico-Mesa, J. S., Gaviria, M. C., Arango-Isaza, D., & Hernández Chica, C. A. (2018). Radiación ionizante: revisión de tema y recomendaciones para la práctica. *Revista Colombiana de Cardiología*, 25(3), 222–229. <https://doi.org/10.1016/J.RCCAR.2017.10.008>
- Barba Ramírez, L., Ruiz García de Chacón, V., & Hidalgo Rivas, A. (2020). El uso de rayos X

- en odontología y la importancia de la justificación de exámenes radiográficos. *Avances En Odontoestomatología*, 36(3), 131–142. <https://doi.org/10.4321/S0213-12852020000300002>
- Belmans, N., Jacobs, R., & Bosmans, H. (2024). Long-term biological effects of dental CBCT exposure. *Dentomaxillofacial Radiology*, 53(1), 20230321. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20230321>
- Cerqueira, E. M., Trindade, S., & Gomes-Filho, I. S. (2014). Micronucleus assay in oral cells after dental radiography. *Radiation Protection Dosimetry*, 162(4), 582–588. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncu096>
- Gibbs, S. J. (2018). Biological effects of radiation from dental radiography. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. *Journal of the American Dental Association (1939)*, 105(2), 275–281. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1982.0093>
- Güerci, A. M., & Córdoba, E. E. (2015). Nuevo enfoque de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. *Revista Argentina de Radiología*, 79(4), 224–225. <https://doi.org/10.1016/j.rard.2015.06.002>
- Kasraei, S., Shokri, A., & Ghaffari, T. (2015). Genotoxicity induced by panoramic radiography. *Iranian Journal of Radiology*, 12(1), e13863. <https://doi.org/10.5812/iranjradiol.13863>
- Kasraei, S., Shokri, A., & Poorolajal, J. (2018). Genotoxicity of cone-beam CT in oral cells. *Dentomaxillofacial Radiology*, 47(2), 20170221. <https://doi.org/10.1259/dmfr.2017022>
- Poppe, B., Chofor, N., Pfaffenberger, A., & Looe, H. K. (2014). DNA damage after cone-beam computed tomography. *Dentomaxillofacial Radiology*, 43(3), 20130307. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20130307>
- Poppe, B., Looe, H. K., & Pfaffenberger, A. (2020). Genotoxic risk assessment of dental CBCT. *Radiation Protection Dosimetry*, 189(2), 123–131. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncaa077>
- Praveen, B. N., Shubhasini, A. R., Bhanushree, R., Sumsum, P. S., & Sushma, C. N. (2013). Radiation in dental practice: awareness, protection and recommendations. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 14(1), 143–148. <https://doi.org/10.5005/JP-JOURNALS-10024-1289>
- Preethi, N., Chikkanarasaiyah, N., & Bethur, S. (2011). Genotoxic effects of panoramic radiography on oral epithelial cells. *Journal of Oral and Maxillofacial Pathology*, 15(3), 236–240. <https://doi.org/10.4103/0973-029X.86692>
- Puerta-Ortiz, J. A., & Morales-Aramburo, J. (2020). Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. *Revista Colombiana de Cardiología*, 27, 61–71. <https://doi.org/10.1016/J.RCCAR.2020.01.005>
- Ravanat, J. L., Douki, T., & Cadet, J. (2017). Oxidative stress is induced by low-dose ionizing radiation. *Free Radical Biology and Medicine*, 107, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2017.02.035>
- Ribeiro, D. A. (2004). Cytogenetic biomonitoring of oral mucosa cells from adults exposed to dental X-rays. *Radiation Protection Dosimetry*, 111(3), 285–290. <https://doi.org/10.1093/rpd/nch038>
- Ribeiro, D. A. (2010). Genotoxicity of dental X-rays: Evidence from buccal cells. *Journal of Dental Research*, 89(2), 183–187. <https://doi.org/10.1177/0022034509357738>
- Ribeiro, D. A., & Angelieri, F. (2008). Cellular damage in oral mucosa cells after dental X-ray exposure. *Journal of Oral Science*, 50(3), 347–350. <https://doi.org/10.2334/josnusd.50.347>
- Ribeiro, D. A., Oliveira, G., & Angelieri, F. (2019). DNA damage persistence after dental radiography. *International Journal of Radiation Biology*, 95(5), 640–646. <https://doi.org/10.1080/09553002.2019.1569257>
- Ribeiro, D. A., Angelieri, F., & Oliveira, G. (2022). Genetic biomarkers after repeated dental X-rays. *International Journal of Radiation Biology*, 98(8), 1251–1258. <https://doi.org/10.1080/09553002.2022.2034567>
- Shahidi, S., Zamani, E., & Mortazavi, S. M. J. (2021). Oxidative stress after dental X-ray exposure. *Journal of Biomedical Physics & Engineering*, 11(1), 85–92. <https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.1107>

- Vásquez, S., & Villacis, W. (2019). Implementación de un Programa de Protección Radiológica en laboratorios que utilizan equipos y fuentes emisoras de radiación ionizante y en el Servicio de Radiodiagnóstico Odontológico de la Escuela Politécnica Nacional. *Revista Politécnica*, 43(1). http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292019000200051
- Wiklander, L., Cederlund, A., Kadesjö, N., Näsman, P., Tranaeus, S., & Naimi-Akbar, A. (2025). Negative health effects of dental X-rays: A systematic review. *PLOS One*, 20(5), e0323808. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0323808>
- Yepes-Nuñez, J. J., Urrútia, G., Romero-García, M., & Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/J.RECESP.2021.06.016>