

TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA LA PREVENCIÓN DE CARIES DENTALES: UNA REVISIÓN NARRATIVA DE LA LITERATURA

Guerrero Bermúdez, Beatriz María ¹ , Bermúdez Camps, Isis Beatriz ² ,
Carillo Crespo, Wendoly Venecia ³ , Lucas-Rincón, Salvador Eduardo ¹ ,
Navarrete-Hernández, José ¹ , Delgado-Pérez, Víctor Jesús ¹ ,
Jiménez-Gayosso, Sandra ¹ , Medina-Solís, Carlo E. ¹ 

1. Área Académica de Odontología del Instituto de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, México.
2. Área Académica de Farmacia del Instituto de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, México.
3. Unidad de Medicina Familiar N° 32. Jefatura de Educación e Investigación en Salud. Instituto Mexicano del Seguro Social. Pachuca, México.

EMAIL: cemedinas@yahoo.com

CORRESPONDENCIA: Dr. Carlo Eduardo Medina-Solís. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM)

RESUMEN

Introducción: La caries dental es una enfermedad altamente prevalente que requiere enfoques preventivos innovadores. Diversas tecnologías emergentes buscan mejorar su detección temprana y manejo mínimamente invasivo, aunque su implementación enfrenta desafíos. **Objetivo:** Analizar las ventajas y desventajas de las tecnologías emergentes para la prevención de caries dentales. **Metodología:** Se realizó una revisión sistemática siguiendo las directrices PRISMA. La búsqueda en Science Direct, PubMed, LILACS, Wiley y Springer (enero-julio 2025) incluyó artículos en inglés y español (2020-2025). La calidad metodológica se evaluó con herramientas JBI. **Resultados:** De 5447 registros iniciales, se incluyeron 13 estudios. Las tecnologías se clasificaron en: ómicas, inteligencia artificial (IA), tecnologías ópticas y láser, materiales bioactivos (hidroxiapatita, CPP-ACP, fluoruro diamino de plata) y estrategias biológicas (probióticos, vacunas). La IA y las tecnologías ópticas mejoraron la precisión diagnóstica. Los materiales bioactivos y el fluoruro diamino de plata mostraron eficacia en remineralización y detención de caries, aunque con limitaciones estéticas y necesidad de mayor evidencia clínica. Predominaron los estudios preclínicos y las revisiones. **Conclusión:** Las tecnologías emergentes ofrecen herramientas prometedoras para la prevención personalizada de caries, mejorando el diagnóstico temprano y el manejo mínimamente invasivo. Sin embargo, se requiere mayor evidencia de ensayos clínicos controlados, estandarización metodológica y evaluaciones de costo-efectividad para consolidar su adopción generalizada en la práctica clínica.

PALABRAS CLAVE: caries dental; tecnologías emergentes; prevención; inteligencia artificial; materiales bioactivos.

EMERGING TECHNOLOGIES FOR THE PREVENTION OF DENTAL CARIES: A NARRATIVE REVIEW OF THE LITERATURE

ABSTRACT

Introduction: Dental caries is a highly prevalent disease that requires innovative preventive approaches. Various emerging technologies aim to improve its early detection and minimally invasive management, although their implementation faces challenges. **Objective:** To analyze the advantages and disadvantages of emerging technologies for the prevention of dental caries. **Methodology:** A systematic review was conducted following PRISMA guidelines. The search in Science Direct, PubMed, LILACS, Wiley, and Springer (January–July 2025) included articles in English and Spanish (2020–2025). Methodological quality was assessed using JBI tools. Results: From 5,447 initial records, 13 studies were included. The technologies were classified into: omics, artificial intelligence (AI), optical and laser technologies, bioactive materials (hydroxyapatite, CPP-ACP, silver diamine fluoride), and biological strategies (probiotics, vaccines). AI and optical technologies improved diagnostic accuracy. Bioactive materials and silver diamine fluoride showed efficacy in remineralization and caries arrest, although with aesthetic limitations and the need for further clinical evidence. Preclinical studies and reviews predominated. **Conclusion:** Emerging technologies offer promising tools

for personalized caries prevention, improving early diagnosis and minimally invasive management. However, further evidence from controlled clinical trials, methodological standardization, and cost-effectiveness evaluations is required to consolidate their widespread adoption in clinical practice.

KEYWORDS: dental caries; emerging technologies; prevention; artificial intelligence; bioactive materials.

INTRODUCCIÓN

La caries dental es una enfermedad prevalente, que afecta a más de un tercio de la población mundial, con una prevalencia superior al 40%.¹ En México, el 90% de la población mexicana padece de enfermedades bucales, siendo las caries dentales y la enfermedad periodontal, los padecimientos más comunes, lo que representa un reto para la salud pública y un desafío en términos de prevención y tratamiento.² Esta enfermedad resulta de una interacción multifactorial, donde la

dieta, la higiene bucodental, la composición microbiológica de la boca y los factores socioeconómicos juegan un papel fundamental en su desarrollo.³ El manejo clínico ha ido evolucionando hacia la mínima intervención, que enfatiza su detección temprana, la evaluación del riesgo, la remineralización del tejido duro dental y el manejo preventivo óptimo.⁴

En la actualidad, la disminución de esta enfermedad no ha sido satisfactoria, ya que su tratamiento ha reducido solo el 4 % de

los casos de caries en las últimas décadas.⁵

Las tecnologías emergentes y avanzadas que existen actualmente, han revolucionado la odontología. Estas innovaciones ofrecen una precisión sin precedentes, permitiendo a los odontólogos identificar caries en sus etapas más tempranas, incluso antes de que sean visibles en radiografías convencionales y tratarlas con fluoruros, selladores de foseas y fisuras innovadores, materiales y nanotecnología.

Estas tecnologías prometen mejorar la eficacia de las intervenciones preventivas, favorecer la detección temprana de lesiones incipientes y promover un enfoque más individualizado y basado en el riesgo. No obstante, la implementación de estas

tecnologías emergentes plantea desafíos relevantes, como los costos asociados, la necesidad de evidencia clínica robusta, consideraciones éticas, limitaciones en su aplicabilidad a gran escala y posibles barreras para su adopción en sistemas de salud con recursos limitados. Por ello, resulta fundamental realizar un análisis crítico que permita valorar de manera equilibrada tanto sus beneficios potenciales como sus limitaciones.

En este contexto, el presente artículo tuvo como objetivo analizar las ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías emergentes para la prevención de caries dentales, a través de una revisión sistemática siguiendo las directrices PRISMA con el fin de aportar una visión integral que

facilite la toma de decisiones informadas en la práctica clínica, la investigación y el diseño de políticas de salud bucal orientadas a la prevención.

MÉTODOS

Diseño de la revisión y estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda sistemática de artículos publicados según los criterios de PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)⁶ y la estrategia PICO (Población, Intervención, Comparación, Resultado).⁷

La búsqueda se realizó en el período de enero a julio del 2025 en bases de datos como Science Direct, PubMed, LILACS, Wiley y Springer. Se eligieron estas bases de datos porque incluyen un gran número de

artículos en el ámbito de las ciencias de la salud.

Las palabras claves utilizadas para la búsqueda se muestran en el cuadro 1. Los filtros aplicados durante las búsquedas incluyeron artículos publicados en inglés y español.

Criterios de elegibilidad

Criterios de inclusión:

- Artículos de investigación, revisión sistemática y metanálisis publicados en inglés y español con texto completo entre enero del 2020 y julio de 2025.
- Artículos publicados en revistas revisadas por pares.

- Estudios que describen tecnologías emergentes para la prevención de caries.

Criterios de exclusión:

- Cartas al director, libros, editorial.
- Artículos que no incluyan pacientes en tratamiento o la

participación de profesionales sanitarios.

- Artículos con tecnologías emergentes utilizadas en otras áreas distintas a la odontología.
- Artículos duplicados

Cuadro 1. Palabras claves utilizadas en la búsqueda

Categoría	Términos buscados
S	Inglés: " dental caries " OR " emerging technologies " OR " caries prevention" Español: "caries dentales" O "tecnologías emergentes" O "prevención de caries"
O	Inglés: "most used emerging technologies in caries prevention" OR "advantages and

	disadvantages of emerging technologies in the prevention of dental caries” OR “most effective emerging technologies for caries prevention” OR “clinical research in caries prevention” Español: “tecnologías emergentes más usadas en la prevención de caries” O “ventajas y desventajas de las tecnologías emergentes en la prevención de caries dentales” O “tecnologías emergentes más efectivas para la prevención de caries” O “investigaciones clínicas en la prevención de caries”
P	Inglés: “pediatric and adult patients “OR “pediatric or adult patients with dental caries.” Español: “pacientes pediátricos y adultos” O pacientes pediátricos o adultos con caries dentales”

(S)= fenómeno que se desea estudiar

(O)= Propósito del estudio o fenómeno

(P)=población objeto y su contexto

Selección de artículos

Después de realizada la revisión bibliográfica en las bases de datos seleccionadas, dos investigadores llevaron a cabo de forma independiente el proceso de selección de artículos por títulos y resúmenes. Luego se consultó al tercer autor y se llegó al consenso. Los duplicados fueron detectados y eliminados después de la búsqueda inicial. Posteriormente, se seleccionaron los resúmenes, teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión y la pregunta de investigación mediante la estrategia PICO (P de problema o paciente, I de intervención a analizar, C de comparación y O de outcomes o resultados).

Tras la selección de los resúmenes, se seleccionaron los textos completos de los artículos seleccionados.

Extracción de datos

Los datos de los artículos elegidos fueron extraídos por dos revisores mediante un formato estandarizado basado en la declaración PRISMA, que recogió la siguiente información: autor, fecha de publicación, país o estado donde se realizó la investigación, objetivo, metodología, resultados y conclusiones.

Análisis crítico de la información seleccionada y su calidad metodológica

Se realizó el análisis de la información seleccionada y su calidad metodológica, así como el riesgo de sesgo en el diseño,

realización y análisis de cada uno de los artículos seleccionados. El análisis fue realizado de forma rigurosa por dos evaluadores críticos utilizando la Herramienta de Valoración Crítica (Critical Appraisal Tool: CAT) del JBI (Joanna Briggs Institute).⁸

Se incluyeron todos los artículos con una puntuación positiva en el 80% de los ítems. incluidos. Para la síntesis y análisis de datos se importaron todos los artículos de Mendeley y se exportaron al software Rayyan para realizar el análisis descriptivo preliminar.

Comparación de las ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías emergentes para la prevención de caries dentales.

A partir del análisis descriptivo preliminar de cada uno de los artículos seleccionados, se identificaron las ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías emergentes para la prevención de caries dentales, resumiendo las mismas, de acuerdo con los resultados principales referidos en los artículos seleccionados y las conclusiones de los autores de los mismos.

RESULTADOS

Diseño de la revisión y estrategia de búsqueda

El diseño de la revisión y estrategia de búsqueda permitió identificar un total de 5447 registros. Con el apoyo del software

Mendeley, se eliminaron 2648 registros duplicados, quedando un total de 2799 artículos, que fueron introducidos en Rayyan para su revisión por título y resumen, siendo eliminados, 1154 por no ser artículos de investigación, revisión sistemática y metaanálisis, 688 por no incluir pacientes en tratamiento o la participación de profesionales sanitarios y 865 por ser artículos con tecnologías emergentes utilizadas en otras áreas distintas a la odontología, quedando 92

artículos que fueron revisados en texto completo (Figura 1).

Análisis crítico de la información seleccionada y su calidad metodológica

Tras leer los 92 artículos que fueron revisados en texto completo, se excluyeron 79, porque no obtuvieron una puntuación positiva en más del 80% de las preguntas del instrumento *JBI- Critical Appraisal Checklist*, quedando 13 artículos finales, con los cuales se procedió a la construcción de la tabla resumen (Cuadro 2).

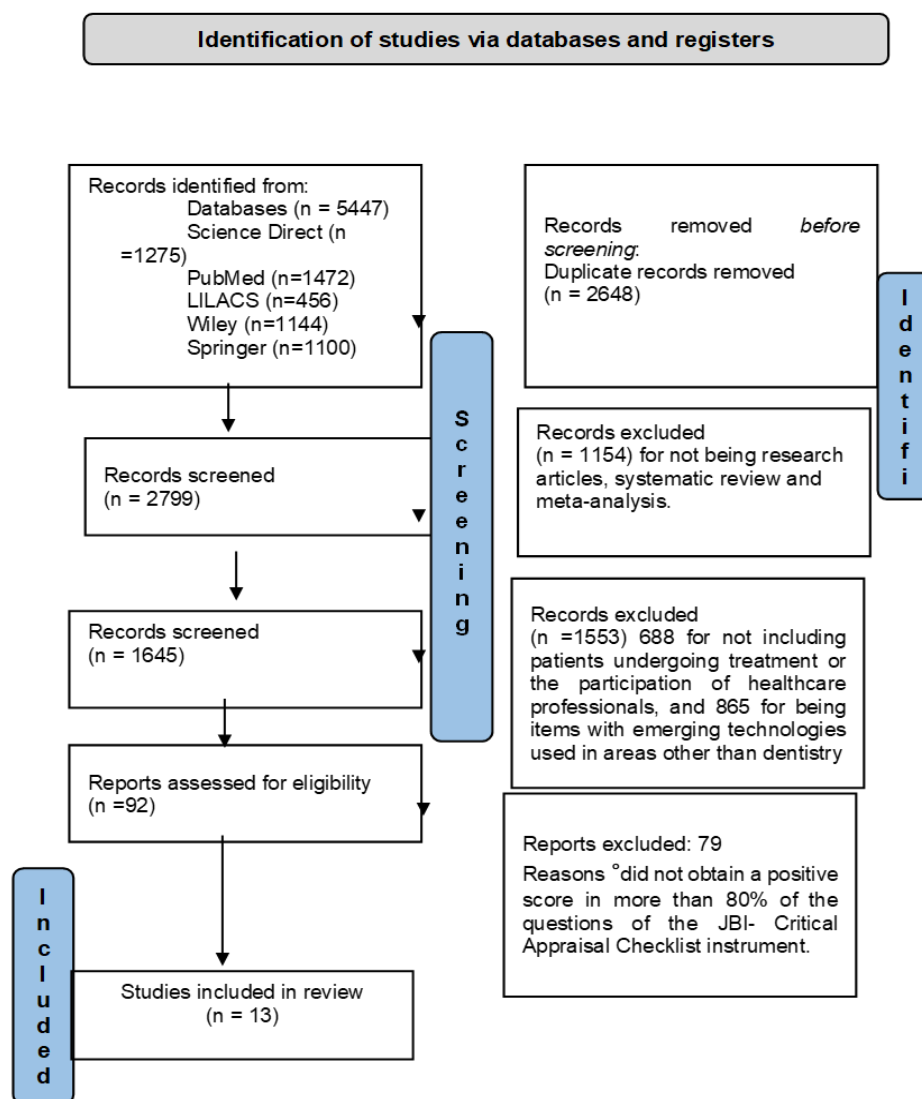


Figura 1: Diagrama de flujo para revisión sistemática basada en PRISMA

Source: Adapted from the systematic review of the PRISMA 2020 flowchart.⁹ (Page MJ, et al. BMJ 2021;372: n71. doi: 10.1136/bmj.n7)

Comparación de las ventajas y desventajas

de las diferentes tecnologías

El análisis de la literatura permitió

identificar 13 estudios relevantes

publicados entre 2021 y 2025, realizados en distintos contextos geográficos (Asia, América y Medio Oriente), que abordaron el uso de tecnologías emergentes para la prevención, diagnóstico y manejo de la caries dental. Los resultados se organizaron considerando el tipo de tecnología evaluada, la metodología empleada, los principales hallazgos reportados y las conclusiones de los autores (Cuadro 2),

De los estudios analizados, predominaron 7 revisiones de la literatura y revisiones sistemáticas, seguidos de 3 estudios experimentales *in vitro* y *ex vivo*, 1 ensayo clínico aleatorizados y 1 estudio experimental en modelos animales. Esta distribución evidencia que gran parte de las tecnologías emergentes en cariología aún se encuentran en fases de evaluación

preclínica o de síntesis de evidencia, con menor número de estudios clínicos controlados.

Las tecnologías identificadas se agruparon en cinco grandes categorías: tecnologías ómicas, inteligencia artificial y herramientas digitales, tecnologías ópticas y láser, materiales bioactivos y agentes remineralizantes y estrategias biológicas y biotecnológicas.

Tecnologías ómicas aplicadas a la investigación de la caries dental:

El estudio de Zhang et al.⁴ reportó la inclusión de 922 publicaciones relacionadas con tecnologías ómicas en cariología. Los resultados mostraron un crecimiento sostenido en la aplicación de estas

tecnologías, con predominio de la metagenómica, que representó el 73 % de los estudios, seguida por la metabolómica (12 %), proteómica (11 %) y transcriptómica (8 %).

El análisis bibliométrico evidenció una mayor producción científica en países desarrollados y una creciente colaboración interdisciplinaria, lo que permitió identificar biomarcadores, perfiles microbianos asociados al riesgo de caries y rutas metabólicas involucradas en los procesos de desmineralización y remineralización.

Inteligencia artificial en el diagnóstico de la caries dental:

Dos estudios evaluaron el uso de inteligencia artificial (IA) en el diagnóstico

de caries. Menéndez et al.¹⁰ destacaron que los modelos de *deep learning* y redes neuronales convolucionales mostraron mayor precisión, sensibilidad y especificidad en la detección de caries que los métodos tradicionales basados únicamente en examen visual o radiográfico.

Al respecto, Alqutaibi y Al-Zaghuri¹¹ reportaron que los modelos de IA aplicados a radiografías *bitewing* digitales alcanzaron alta sensibilidad diagnóstica, aunque la especificidad fue variable, lo que implica la presencia de falsos positivos. Ambos estudios coincidieron en que la IA funciona como una herramienta auxiliar, sin sustituir la evaluación clínica profesional.

Tecnologías ópticas y láser para diagnóstico y prevención

En el ámbito diagnóstico, Salama et al. (2022)¹² evaluaron una cámara de fluorescencia de alta definición, encontrando mayor sensibilidad para la detección de caries oclusales iniciales frente al examen visual convencional. En lesiones de dentina, la sensibilidad alcanzó valores entre 95 y 100 %, con áreas bajo la curva (AUC) de hasta 0.888, lo que demostró alta capacidad diagnóstica.

Por su parte, Laverde (2023)¹³ analizó la laserfluorescencia cualitativa para determinar el límite cavitario. Los resultados mostraron que las escalas de color propuestas por el fabricante no fueron las más precisas y que el uso de la escala CIE Lab permitió diferenciar de manera más

objetiva entre dentina recuperable y no recuperable, especialmente con longitudes de onda de 405 nm.

En prevención, Alshamrani (2023)¹⁴ evidenció que la combinación de láser de diodo y flúor tópico produjo el mayor incremento en la microdureza del esmalte en dientes primarios, superando a los tratamientos individuales.

Materiales bioactivos y agentes remineralizantes

Limeback et al. (2021)¹⁵ reportaron que los productos con hidroxiapatita biomimética ofrecieron aproximadamente 17 % de protección contra la caries, sin diferencias significativas frente a productos con flúor en algunos contextos.

Richa et al. (2025)¹⁶ señalaron que los materiales bioactivos remineralizantes, como CPP-ACP e hidroxiapatita, junto con nuevos sistemas de liberación prolongada de flúor, mejoran la eficacia preventiva y reducen la necesidad de tratamientos restauradores.

Adicionalmente, un estudio experimental en China¹⁷ evaluó un hidrogel multifuncional cargado con nanoláminas de fósforo negro, el cual mostró fuerte adhesión, actividad antimicrobiana y efecto preventivo frente a la caries en modelos animales, superando al barniz de flúor.

Dos estudios evaluaron el fluoruro diamino de plata (SDF) Phonghanyudh et al.¹⁸ reportaron tasas de detención de caries del

59.1 % con SDF y 58.8 % con barniz de flúor, sin diferencias estadísticamente significativas. Sotillo et al.¹⁹ confirmaron altas tasas de inactivación de caries cavitadas en dientes primarios, con reducción significativa de actividad bacteriana, siendo la pigmentación oscura el principal efecto secundario.

Estrategias biológicas y biotecnológicas

Los probióticos²⁰ mostraron capacidad para inhibir microorganismos cariogénicos mediante cinco mecanismos principales, incluyendo competencia por adhesión, producción de sustancias antimicrobianas y modulación del pH. Sin embargo, los

resultados fueron variables según cepa, dosis y tiempo de administración.

En cuanto a vacunas experimentales contra la caries²¹, los resultados indicaron eficacia en modelos animales y aumento de anticuerpos salivales en humanos, aunque sin evidencia clínica concluyente de reducción sostenida de caries.

El análisis integral de los resultados muestra que las tecnologías emergentes en cariología han permitido avanzar hacia un enfoque preventivo, mínimamente invasivo y personalizado, con mejoras en el diagnóstico temprano, el control del microbioma oral y la remineralización del esmalte. No obstante, la mayoría de las tecnologías aún requieren validación clínica a largo plazo, antes de su adopción

generalizada para la prevención de caries dentales.

El análisis comparativo de las tecnologías emergentes incluidas en los estudios revisados permitió identificar ventajas y limitaciones específicas asociadas a cada enfoque, las cuales se resumen en el cuadro 3.

En relación con las ventajas y desventajas de las tecnologías emergentes analizadas, las tecnologías ómicas se destacaron por su capacidad para analizar de manera integral sistemas biológicos complejos, permitiendo la identificación de biomarcadores tempranos de riesgo de caries y una mejor comprensión de los mecanismos moleculares involucrados en la

enfermedad.⁴ Sin embargo, su aplicación clínica inmediata se ve limitada por el alto costo, la complejidad en el manejo e interpretación de grandes volúmenes de datos y la falta de estandarización metodológica entre estudios.

En cuanto a la inteligencia artificial (IA), los estudios reportaron ventajas relevantes en la mejora de la precisión diagnóstica y predictiva, así como en la evaluación del riesgo de caries mediante la integración de múltiples variables clínicas y sociodemográficas. La IA se posiciona como una herramienta de apoyo a la decisión clínica y de utilidad en programas de salud comunitaria.¹⁰ No obstante, su adopción puede verse restringida por la infraestructura digital requerida, la

necesidad de capacitación especializada y la insuficiente validación clínica a largo plazo.

Las tecnologías ópticas, como la cámara de fluorescencia de alta definición (VistaProof IX HD SMART) y la laserfluorescencia cualitativa¹² mostraron ventajas en el diagnóstico temprano, no invasivo y objetivo de lesiones cariosas, así como en la delimitación del límite cavitario. Entre sus limitaciones se identificaron el costo elevado del equipo, la dependencia de la calibración y experiencia del operador, la posible interferencia por placa o humedad y una sensibilidad moderada en algunos escenarios.

Respecto a los materiales bioactivos remineralizantes, como CPP-ACP e hidroxiapatita biomimética, se observó su

capacidad para promover la reparación del esmalte sin necesidad de intervención operatoria, contribuyendo a la remineralización y reducción de la adhesión bacteriana. Sin embargo, la evidencia clínica aún es limitada y heterogénea, con pocos ensayos clínicos aleatorizados y periodos de seguimiento cortos.

La hidroxiapatita biomimética¹⁶ mostró ser una alternativa biocompatible y segura, especialmente relevante en población pediátrica, con capacidad para reducir el riesgo de caries incluso sin flúor. A pesar de ello, la escasez de ensayos clínicos comparables y la heterogeneidad metodológica limitan la generalización de sus resultados.

El fluoruro diamino de plata (SDF) al 38%¹⁸ presentó ventajas importantes como su eficacia en la detención de caries del esmalte en dientes primarios, facilidad de aplicación, bajo costo y utilidad en contextos comunitarios o en pacientes no colaboradores. Entre sus desventajas se identificaron la pigmentación oscura permanente de la lesión tratada, la necesidad de seguimiento y el hecho de que no restaura la forma ni función del diente.

Las vacunas experimentales contra la caries dental y los probióticos,²¹ representan enfoques biotecnológicos innovadores orientados a la modulación del microbioma oral y la prevención primaria. Aunque presentan un potencial preventivo significativo, los estudios señalaron una falta de evidencia clínica sólida en

humanos, además de limitaciones relacionadas con la estandarización, duración del efecto y consideraciones éticas y regulatorias.

Finalmente, la combinación de flúor tópico con láser de diodo¹⁸ mostró un incremento significativo en la resistencia del esmalte frente a la desmineralización, evidenciando un efecto sinérgico. No obstante, los resultados provienen de estudios in vitro, lo que limita su extrapolación directa a la práctica clínica y resalta la necesidad de estudios clínicos controlados.

En conjunto, los resultados evidencian que las tecnologías emergentes ofrecen beneficios relevantes en el enfoque preventivo y mínimamente invasivo de la

caries dental, aunque su implementación clínica generalizada aún se encuentra condicionada por limitaciones metodológicas, económicas y de validación clínica

DISCUSIÓN

Los resultados de la presente revisión evidencian que las tecnologías emergentes en cariología han experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años, orientándose hacia un enfoque preventivo, mínimamente invasivo y personalizado, en concordancia con las tendencias actuales de la odontología moderna. No obstante, la distribución metodológica de los estudios incluidos —predominantemente revisiones de la literatura y estudios preclínicos— confirma que muchas de estas tecnologías

aún se encuentran en etapas tempranas de validación clínica, lo que limita su adopción generalizada.

Las tecnologías ómicas, incluyendo la genómica, proteómica y metabolómica, se consolidan como herramientas capaces de ofrecer una comprensión más holística del proceso cariogénico. El análisis bibliométrico reportado por Zhang et al.⁴ coincide con otros estudios recientes que destacan el papel central de la metagenómica y metabolómica en la identificación de perfiles microbianos y biomarcadores asociados al riesgo de caries. Estas aproximaciones han permitido comprender la caries como una disbiosis del ecosistema oral, más que como una

infección causada por un solo microorganismo.²²

Sin embargo, pese a su alto valor investigativo, la aplicabilidad clínica inmediata de las tecnologías ómicas continúa siendo limitada debido a su alto costo, complejidad analítica y ausencia de protocolos estandarizados, como también señalan Poulsen et al.²³

Los hallazgos relacionados con inteligencia artificial (IA) concuerdan con revisiones recientes que reportan mejoras significativas en la precisión diagnóstica de caries, particularmente en lesiones incipientes detectadas mediante radiografías *bitewing* y fotografías intraorales.²⁴

Esto es consistente con resultados de revisiones sistemáticas recientes, que reportan sensibilidad y especificidad elevadas y un área bajo la curva diagnóstica robusta, con puntajes de precisión diagnóstica superiores al 90 % en algunos análisis combinados.²⁵

Sin embargo, la variabilidad en la especificidad observada por Alqutaibi y Al-Zaghruri¹¹ refleja una limitación ampliamente documentada: la dependencia de la calidad y heterogeneidad de los conjuntos de datos, lo que puede generar falsos positivos y sesgos algorítmicos. En este sentido, la literatura coincide en que la IA debe considerarse una herramienta complementaria y no sustitutiva del juicio clínico.²⁶

Las tecnologías ópticas, como cámaras de fluorescencia de alta definición y sistemas de laserfluorescencia, demostraron alta capacidad diagnóstica, especialmente para la detección temprana de lesiones cariosas subclínicas, especialmente en esmalte y dentina temprana, lo cual concuerda con estudios previos que resaltan su utilidad para el diagnóstico temprano y no invasivo.²⁷

No obstante, la variabilidad en los resultados y la dependencia del operador, descritas por Laverde,¹³ han sido también reportadas por Tranaeus et al.²⁸ quienes señalan la necesidad de protocolos de calibración estrictos para mejorar la reproducibilidad clínica.

En el ámbito preventivo, la combinación de láser de diodo y flúor tópico mostró un efecto sinérgico sobre la microdureza del esmalte, en concordancia con estudios *in vitro* recientes que sugieren que la irradiación láser puede potenciar la incorporación de flúor en el esmalte.²⁹ Sin embargo, la extrapolación clínica sigue siendo limitada debido a la escasez de ensayos clínicos controlados.

Los materiales bioactivos, como la hidroxiapatita biomimética y CPP-ACP, han sido destacados como promotores de la remineralización del esmalte y reducción de la actividad bacteriana, lo cual respalda los hallazgos de esta revisión y los posiciona como alternativas prometedoras al flúor, particularmente en poblaciones pediátricas o con riesgo de fluorosis.³⁰⁻³¹

No obstante, revisiones sistemáticas recientes destacan que la evidencia clínica sigue siendo heterogénea, con diferencias en formulaciones, protocolos y desenlaces evaluados.³²

El estudio experimental desarrollado en China por Ran et al.¹⁷ representa un avance significativo al integrar adhesión húmeda, actividad antimicrobiana y remineralización *in situ* en un solo biomaterial. Estos resultados superan las limitaciones de los agentes remineralizantes convencionales y se alinean con el desarrollo de materiales inteligentes multifuncionales. A pesar de ello, la literatura coincide en que la ausencia de estudios clínicos en humanos y

la necesidad de activación externa limitan su aplicación inmediata.³³

El fluoruro diamino de plata se ha consolidado como uno de los tratamientos más eficaces para detener la progresión de lesiones cariosas en dientes primarios, con tasas de arresto superiores a 60 % en numerosos estudios. Esta eficacia ha sido descrita también en metaanálisis previos, con tasas de arresto incluso mayores en periodos de seguimiento clínico.³⁴

A pesar de su efectividad, los efectos estéticos (pigmentación oscura) y la necesidad de seguimiento continuo, siguen siendo sus principales barreras, lo que coincide con las limitaciones señaladas por Al-Angari y Alayad.³⁵

Los probióticos y las vacunas experimentales contra la caries reflejan un cambio conceptual hacia la modulación del microbioma oral. Los mecanismos descritos por Pablo et al.²⁰ coinciden con revisiones recientes que destacan la competencia bacteriana y la modulación del pH como estrategias prometedoras. Sin embargo, la evidencia clínica sigue siendo inconsistente, con alta variabilidad entre cepas, dosis y duración del tratamiento.³⁶

En conjunto, los resultados del presente análisis confirman que las tecnologías emergentes en cariología ofrecen beneficios relevantes en diagnóstico temprano, control microbiológico y remineralización, favoreciendo un enfoque preventivo y mínimamente invasivo. Sin embargo, la

literatura actual coincide en que su implementación clínica generalizada requiere ensayos clínicos controlados, estandarización metodológica, evaluación costo-efectividad y seguimiento a largo plazo, antes de ser incorporadas de forma rutinaria en la práctica odontológica.

La presente revisión sistemática estuvo limitada por la heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos, con predominio de revisiones narrativas y estudios preclínicos, lo que restringe la generalización de los hallazgos y la realización de comparaciones cuantitativas robustas. La escasez de ensayos clínicos controlados y estudios longitudinales limita la evaluación de la eficacia clínica, seguridad a largo plazo y costo-efectividad de varias

tecnologías emergentes. Asimismo, la variabilidad en protocolos, formulaciones y desenlaces, junto con el rápido avance tecnológico y el uso de muestras pequeñas, puede introducir sesgos y dificultar la estandarización de resultados. Finalmente, la restricción a determinadas bases de datos e idiomas pudo haber excluido literatura relevante no indexada.

CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática, desarrollada conforme a las directrices PRISMA, evidencia que las tecnologías emergentes en cariólogía han evolucionado hacia enfoques preventivos, mínimamente invasivos y personalizados, con aportes relevantes en el diagnóstico temprano, la remineralización y el control microbiológico

de la caries dental. Tecnologías como la inteligencia artificial, las herramientas ópticas, los materiales bioactivos, el fluoruro diamino de plata y las estrategias basadas en la modulación del microbioma oral muestran resultados prometedores.

La comparación de las ventajas y desventajas de las distintas tecnologías emergentes permitió identificar beneficios claros, como la mejora en la precisión diagnóstica mediante inteligencia artificial y tecnologías ópticas, el potencial preventivo de los materiales bioactivos y del fluoruro diamino de plata, y el enfoque innovador de las estrategias basadas en la modulación del microbioma oral. No obstante, también se identificaron limitaciones relevantes, entre ellas la heterogeneidad metodológica, la variabilidad en protocolos y desenlaces, los

efectos adversos estéticos en algunos tratamientos y la escasez de ensayos clínicos controlados.

En conjunto, los hallazgos de esta revisión sistemática confirman que, si bien las tecnologías emergentes representan herramientas prometedoras para la prevención de caries dentales, la consolidación de estas tecnologías en la práctica odontológica requiere mayor robustez metodológica y evidencia clínica de largo plazo.

Implicaciones clínicas

Desde una perspectiva clínica, los hallazgos de esta revisión sugieren que las tecnologías emergentes pueden incorporarse como herramientas

complementarias a las estrategias convencionales de prevención y diagnóstico de caries, especialmente en contextos de detección temprana y manejo mínimamente invasivo. La inteligencia artificial y las tecnologías ópticas pueden apoyar la toma de decisiones clínicas, mientras que materiales bioactivos y el fluoruro diamino de plata ofrecen alternativas eficaces para poblaciones pediátricas y de alto riesgo.

Sin embargo, su uso clínico debe realizarse de manera cautelosa, considerando las limitaciones actuales de la evidencia, los posibles efectos adversos (como alteraciones estéticas) y la necesidad de seguimiento clínico continuo. El juicio clínico del profesional sigue siendo un

elemento central en la aplicación de estas tecnologías.

REFERENCIAS

1. Revistasanitariadeinvestigacion.com. [citado el 17 de abril de 2025]. Disponible en: <https://revistasanitariadeinvestigacion.com/la-pubalgia-articulo-monografico/?form=MG0AV3>
2. International Society of Arthroscopy, Knee Surgery, Orthopaedic Sports Medicine. Anatomía y terminología del dolor inguinal: conceptos actuales. Traumatology Site - Información, Actualización y Educación en Traumatología. Traumatology Site; 2024 [citado el 17 de abril de 2025]. Disponible en: <https://www.traumatology.site/es/anatomia-y-terminologia-del-dolor-inguinal-conceptos-actuales>
3. Mitrousias V, Chytas D, Banios K, Fyllos A, Raoulis V, Chalatsis G, et al. Anatomy and terminology of groin pain: Current concepts. J

ISAKOS. 2023;8(5):381–6. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jisako.2023.05.006>

en: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2013-092872>

4. Pubalgia del deportista u osteopatía de pubis [Internet]. Fisioterapia Talavera Martín Vasco. [citado el 17 de abril de 2025]. Disponible en: <https://www.martinvasco.es/patologias/cadera/pubalgia-deportista-osteopatia-pubis/>

7. Mitrousias V, Chytas D, Banios K, Fyllos A, Raoulis V, Chalatsis G, et al. Anatomy and terminology of groin pain: Current concepts. J ISAKOS [Internet]. 2023;8(5):381–6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jisako.2023.05.006>

5. Castle JP, Kessler A, Abbas MJ, Wager S, Khalil LS, Okoroha KR, et al. High return to play rate and reduced career longevity following surgical management of athletic pubalgia in National Basketball Association players. Arthrosc Sports Med Rehabil [Internet]. 2021;3(5):e1359–65. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asmr.2021.07.001>

8. Revistasanitariadeinvestigacion.com. [citado el 17 de abril de 2025]. Disponible en: <https://revistasanitariadeinvestigacion.com/la-pubalgia-articulo-monografico/?form=MG0AV3>

6. Sheen AJ, Stephenson BM, Lloyd DM, Robinson P, Fevre D, Paaanen H, et al. “Treatment of the sportsman’s groin”: British Hernia Society’s 2014 position statement based on the Manchester Consensus Conference. Br J Sports Med. 2014;48(14):1079–87. Disponible

9. Zoga AC, Kavanagh EC, Omar IM, Morrison WB, Koulouris G, Lopez H, et al. Athletic pubalgia and the “sports hernia”: MR imaging findings. Radiology [Internet]. 2008;247(3):797–807. Available from: <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2473070049>

10. Expert Panel on Gastrointestinal Imaging, Garcia EM, Pietryga JA, Kim DH, Fowler KJ, Chang KJ, et al. ACR appropriateness criteria®

hernia. J Am Coll Radiol. 2022;19(11S):S329–40.

Available from:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jacr.2022.09.016>

11. Phillips E, Khoury V, Wilmot A, Kelly JD 4th.

Correlation between cam-type

femoroacetabular impingement and

radiographic osteitis pubis. Orthopedics.

2016;39(3):e417-22. Available from:

[http://dx.doi.org/10.3928/01477447-20160404-](http://dx.doi.org/10.3928/01477447-20160404-03)

03

12. Lee CH, Dellon LA. Surgical management of groin pain of neural origin¹. J Am Coll Surg.

2000;191(2):137–42. Available from:

[http://dx.doi.org/10.1016/s1072-](http://dx.doi.org/10.1016/s1072-7515(00)00319-7)

7515(00)00319-7

13. Bradshaw C, McCrory P, Bell S, Brukner P.

Obturator nerve entrapment. A cause of groin

pain in athletes: A cause of groin pain in

athletes. Am J Sports Med [Internet].

1997;25(3):402–8. Available from:

<http://dx.doi.org/10.1177/03635465970250032>

2

14. Litiasis. Referencia: Prete FP, Pezzolla A, De

Leo V, Di Palma G, Prete F. Inguino-scrotal

herniation of the ureter containing stones.

Hernia [Internet]. 2016;20(6):887–90.

Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1007/s10029-015-1400-7>

15. Hedelin H, Johannisson H, Welin L.

Prevalence of the chronic prostatitis/chronic

pelvic pain syndrome among 40-69-year-old

men residing in a temperate climate. Scand J

Urol. 2013;47(5):390–2. Disponible en:

[http://dx.doi.org/10.3109/00365599.2012.7569](http://dx.doi.org/10.3109/00365599.2012.756930)

30

16. Hosalkar HS, Pennock AT, Zaps D, Schmitz

MR, Bomar JD, Bittersohl B. The Hip Antero-

Superior Labral Tear with avulsion of rectus

femoris (haltar) lesion: Does the slap equivalent

in the hip exist? Hip Int [Internet].

2012;22(4):391–6. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.5301/hip.2012.9470>

17. Scheltinga MR, Roumen RM. Anterior cutaneous nerve entrapment syndrome (ACNES). *Hernia* [Internet]. 2018;22(3):507–16. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s10029-017-1710-z>

18. Siawash M, Ten WT, Scheltinga M. diagnostic characteristics of anterior cutaneous nerve entrapment syndrome in childhood. *eur J pediatr*. 2018;177:835–9.

19. G N Bisciotti P, Belli G, Bellistri P, Bonaiuti G, Carimati GL, Canata G, et al. Vuckovic - Groin Pain Syndrome Italian Consensus Conference on terminology. 2016;2.

20. Bisciotti GN, Zini R, Aluigi M, Aprato A, Auci A, Bellinzona E, et al. Groin Pain Syndrome Italian Consensus Conference update 2023. *J Sports Med Phys Fitness* [Internet]. 2024;64(4). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.23736/s0022-4707.23.15517-4>

21. Felman A. Oblique muscle pain: Causes, treatment, and more. *Medicalnewstoday.com*. Medical News Today; 2024 [citado el 18 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/oblique-muscle-pain>

22. Weerakkody Y, Knipe H. Tendinopathy. En: *Radiopaedia.org*. Radiopaedia.org; 2019.

23. Shian B, Larson ST. Abdominal wall pain: Clinical evaluation, differential diagnosis, and treatment. *Am Fam Physician* [Internet]. 2018 [citado el 18 de mayo de 2025];98(7):429–36. Disponible en: <https://www.aafp.org/pubs/afp/issues/2018/1001/p429.html>

24. Rectus abdominus tendinopathy. *Physio.co.uk*. [citado el 18 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.physio.co.uk/what-we-treat/musculoskeletal/conditions/abdominals/rectus-abdominus-tendinopathy.php>

25. Valent A, Frizziero A, Bressan S, Zanella E, Giannotti E, Masiero S. Insertional tendinopathy of the adductors and rectus abdominis in athletes: a review. *Muscles Ligaments Tendons J* [Internet]. 2012 [citado el 18 de mayo de 2025];2(2):142–8. Disponible en: <https://www.mltj.online/wp-content/uploads/2019/01/Insertional-tendinopathy-of-the-adductors-and-rectus-abdominis-in-athletes-a-review.pdf>

Disponible en:
<https://www.minervamedica.it/en/journals/sports-med-physical-fitness/article.php?cod=R40Y2022N09A1219>

26. Physio-pedia.com. [citado el 18 de mayo de 2025]. Disponible en: https://www.physio-pedia.com/Adductor_Tendinopathy

27. Gasnick K. Adductor Tendinopathy: Overview and More [Internet]. Verywell Health. 2022 [citado el 18 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.verywellhealth.com/adductor-tendinopathy-5224468>

28. Bisciotti A, Bisciotti GN, Eirale C, Bisciotti A, Auci A, Bona S, et al. Prepubic aponeurotic complex injuries: a structured narrative review. *J Sports Med Phys Fitness*. 2022;62(9):1219–27.