

Nanopartículas en odontología para combatir la formación de biopelículas bacterianas: una revisión sistemática

Nanoparticles in dentistry to combat bacterial biofilm formation: a systematic review

Henry Fabricio Mejía Mosquera ¹ , Verónica Alejandra Guamán Hernández ^{2*} 

¹ Profesional independiente, Riobamba, Ecuador

² Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba, Ecuador

*Autor de correspondencia: vguaman@unach.edu.ec

Recibido: 15 de noviembre de 2024

Aceptado: 22 de diciembre de 2024

Publicado: 2 de enero de 2025

Cómo citar este artículo:

Mejía Mosquera, H. F., & Guamán Hernández, V. A. Nanopartículas en odontología para combatir la formación de biopelículas bacterianas: una revisión sistemática. Salmus [Internet]. 2025 [citado]; 1(1): e1. Disponible en: <https://doi.org/10.61347/rcss.v1i1.e1>

Resumen

Introducción: La formación de biopelículas bacterianas constituye uno de los principales desafíos en el mantenimiento de la salud oral, particularmente en contextos clínicos como la caries dental y la periodontitis. En este marco, las nanopartículas han emergido como una estrategia innovadora en odontología por su potencial antimicrobiano.

Objetivo: El objetivo de este estudio fue analizar, mediante una revisión sistemática de la literatura, las aplicaciones de nanopartículas en la prevención y tratamiento de biopelículas orales.

Métodos: Aplicando la metodología PRISMA, se realizó una búsqueda en la base de datos Scopus, identificando un total de 232 artículos, de los cuales 58 estudios primarios fueron seleccionados tras aplicar criterios de inclusión, exclusión y análisis de sesgo.

Resultados: Los resultados evidenciaron que las nanopartículas de plata (AgNPs) presentan una destacada actividad antimicrobiana frente a microorganismos como *Streptococcus mutans* y *Porphyromonas gingivalis*. Asimismo, se identificaron propiedades promisorias en las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) y dióxido de titanio (TiO₂). La diversidad en los métodos de síntesis y técnicas de caracterización empleadas en los estudios revisados refleja el dinamismo y la complejidad del campo.

Conclusiones: La revisión destaca el potencial terapéutico de las nanopartículas en el control de biopelículas orales y subraya la necesidad de estudios futuros sobre su seguridad y eficacia a largo plazo.

Palabras clave:

Biopelículas bacterianas, nanopartículas, odontología, síntesis.

Abstract

Introduction: The formation of bacterial biofilms represents one of the main challenges in maintaining oral health, particularly in clinical contexts such as dental caries and periodontitis. In this context, nanoparticles have emerged as an innovative strategy in dentistry due to their antimicrobial potential.

Objective: This study aimed to analyze, through a systematic literature review, the applications of nanoparticles in the prevention and treatment of oral biofilms.

Methods: A search was conducted in the Scopus database, identifying a total of 232 articles, from which 58 primary studies were selected after applying inclusion and exclusion criteria, as well as bias assessment.

Results: The results showed that silver nanoparticles (AgNPs) exhibit notable antimicrobial activity against microorganisms such as *Streptococcus mutans* and *Porphyromonas gingivalis*. Promising properties were also identified in zinc oxide (ZnO) and titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles. The variety of synthesis methods and characterization techniques employed in the reviewed studies reflects the dynamism and complexity of the field.

Conclusions: The review highlights the therapeutic potential of nanoparticles in controlling oral biofilms and emphasizes the need for further research on their long-term safety and efficacy.

Keywords:

Bacterial biofilms, dentistry, nanoparticles, synthesis.



Copyright: Derechos de autor 2025 Henry Fabricio Mejía Mosquera, Verónica Alejandra Guamán Hernández. Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Introducción

Los avances en odontología están marcados por un creciente interés en la mejora de los materiales utilizados en tratamientos dentales y prótesis, con un enfoque particular en la resistencia mecánica, la colonización bacteriana y la prevención de caries. En este contexto, se explora el potencial de las nanopartículas para abordar estas preocupaciones fundamentales y mejorar la eficacia de los materiales dentales.

Uno de los enfoques clave presentados es la incorporación de nanopartículas de plata (AgNPs) y otras como óxido de zinc, dióxido de titanio y circonio en materiales dentales. ⁽¹⁻⁴⁾ Estas nanopartículas se han sintetizado utilizando métodos tanto químicos como verdes, estos últimos permiten la producción de materiales más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. ⁽⁵⁾ Su inclusión en resinas adhesivas, barnices dentales y otros materiales ha demostrado una inhibición significativa del crecimiento bacteriano y la formación de biofilms, crucial para prevenir infecciones asociadas con procedimientos dentales. ⁽⁶⁾

Otros estudios también exploran el potencial de estos nanocomposites en aplicaciones dentales, incluyendo odontología restaurativa, tratamientos ortodóncicos, implantes dentales y la inhibición de biofilms. ⁽⁷⁾ Los resultados prometedores muestran mejoras en la prevención de caries secundarias, fuerza de unión a la dentina, osteointegración e inhibición de la formación de biofilm, lo que podría tener importantes implicaciones para la práctica clínica y la salud oral en general.

Estos avances representan un paso significativo hacia tratamientos dentales más efectivos y duraderos, ofreciendo propiedades antimicrobianas mejoradas mientras se mantienen las características esenciales de los materiales dentales. El continuo desarrollo y aplicación de nanomateriales en odontología promete seguir mejorando los estándares de atención dental y contribuir a una mejor calidad de vida para los pacientes. ⁽⁸⁾

Ante el creciente interés por el uso de nanomateriales en el campo de la salud bucal, surge la necesidad de evaluar críticamente la información disponible sobre la aplicación de nanopartículas en odontología, particularmente en relación con su efectividad para prevenir la formación de biopelículas bacterianas. Este fenómeno representa un desafío clínico relevante, especialmente en la aparición de caries secundarias, las cuales se manifiestan como lesiones adyacentes a restauraciones dentales y comprometen la durabilidad de los tratamientos. En este contexto, se ha propuesto la incorporación de nanopartículas en adhesivos dentales basados en polímeros como una estrategia innovadora para mejorar sus propiedades antimicrobianas y mecánicas. ^(9,10)

A partir de esta problemática, se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuál es la nanopartícula más utilizada para inhibir la formación de biopelículas bacterianas en el ámbito odontológico?

¿Qué métodos de síntesis y caracterización de nanopartículas resultan más adecuados para aplicaciones dentales orientadas al control de biopelículas?

¿Qué tipos de bacterias son efectivamente combatidas por estas nanopartículas?

El objetivo de la presente investigación es identificar y analizar la evidencia científica más relevante sobre el uso de nanopartículas en odontología, con énfasis en su aplicación como agentes antimicrobianos frente a la formación de biopelículas.

Métodos

La metodología empleada en esta Revisión Sistemática de la Literatura (SLR) se basó en la guía PRISMA 2020 ⁽¹¹⁾, la cual proporciona un marco estructurado para garantizar la transparencia, rigurosidad y reproducibilidad en estudios de esta naturaleza. Se revisaron 232 artículos científicos relacionados con la aplicación de nanopartículas en odontología, considerando criterios de elegibilidad previamente definidos. Además, se detallaron las fuentes de información consultadas, se diseñó una estrategia de búsqueda sistemática y se implementó un proceso riguroso para la selección de estudios relevantes. La evaluación del riesgo de sesgo se realizó utilizando métodos estandarizados, y la síntesis de los datos se llevó a cabo mediante técnicas cualitativas y cuantitativas según la naturaleza de los estudios incluidos.

Criterios de elegibilidad

La tabla 1 presenta los criterios de elegibilidad para esta SLR, categorizados en criterios de inclusión y exclusión. Se utilizó como recurso de búsqueda la base de datos Scopus, dada su recopilación de información de diversas bases de datos científicas, editoriales y revistas de alto impacto. La selección de esta base de datos también se basó en el hecho de que arrojó un número significativo de estudios (232), considerados una muestra sustancial.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
- Manuscritos de los últimos 5 años la fecha 2020 a 2024. - Se incluyen artículos de revistas y capítulos de libro. - Se incluyen manuscritos en idioma inglés.	- Que posean cartas de retracción o de erratas. - Que no mencione el título del documento sino de su evento o congreso científico. - Que presenten conflictos de interés. - Que no conteste alguna de las preguntas de investigación.

Estrategia de búsqueda

La construcción de la cadena de búsqueda a partir de dos bloques temáticos generales permitió ampliar el alcance y recuperar documentos que no habrían sido identificados mediante cadenas más específicas. A esta estrategia se incorporaron, además, los criterios de inclusión previamente definidos, con el fin de garantizar la relevancia y pertinencia de los estudios seleccionados.

Cadena de búsqueda: (TITLE (nanomaterial OR nanoparticle OR nanocomposite OR nanocoating) AND TITLE (dental OR odontology OR dentistry)) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2023) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2024)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")).

Proceso de selección de los estudios

El primer paso fue la depuración de estudios candidatos, con la finalidad de descartar los duplicados. El segundo, fue la revisión de los manuscritos (estudios candidatos) por título, abstract y palabras clave de cada publicación, con la finalidad obtener los estudios que cumplen con los criterios de inclusión y exclusión descritos (estudios seleccionados), este paso permitió descartar los que a simple vista no permitían responder al menos a una pregunta de investigación. Un tercer filtro se aplicó mediante la

revisión a texto completo de los estudios seleccionados, en los cuales existieron documentos inaccesibles para los investigadores, los cuales se detallan en el material complementario, así como los que tenían conflicto de interés.

La revisión y el arbitraje para la selección de los estudios se realizaron de forma colaborativa entre los autores de este trabajo. Cada investigador analizó el 50 % de los estudios y cada uno sirvió como revisor de las decisiones de al menos el 50 % de los estudios de los demás investigadores. Este proceso se aplicó tanto a los estudios seleccionados como a los primarios.

Métodos de síntesis

Para organizar y sistematizar los datos recopilados, se utilizó una hoja de cálculo en Excel que permitió una recolección eficiente y estructurada de la información. Se diseñó una matriz con los siguientes campos: código de identificación de cada estudio, condición de seleccionado o no, motivo de selección, presencia o ausencia de conflicto de interés, y correspondencia con una o más preguntas de investigación. Debido a las marcadas diferencias metodológicas y de enfoque entre los estudios analizados, no fue posible realizar una medición comparativa uniforme. No obstante, para facilitar el análisis, los estudios fueron clasificados de acuerdo con cada una de las preguntas de investigación, agrupando aquellos que abordaban temáticas similares.

Resultados

Selección de estudios

La cadena de búsqueda arrojó un total de 232 estudios, considerados estudios candidatos. Los registros cribados fueron 122 estudios para su uso en el proceso de recuperación (estudios seleccionados). Se recuperaron de la web un total de 114 estudios para la revisión del contenido a texto completo (estudios recuperados). Posteriormente, se descartaron 56 estudios por presentar conflicto de interés y por no responder a ninguna pregunta de investigación. El número final de estudios primarios fue 58, confirmando la validez de la cadena de búsqueda creada. Este proceso se representa en la figura 1.

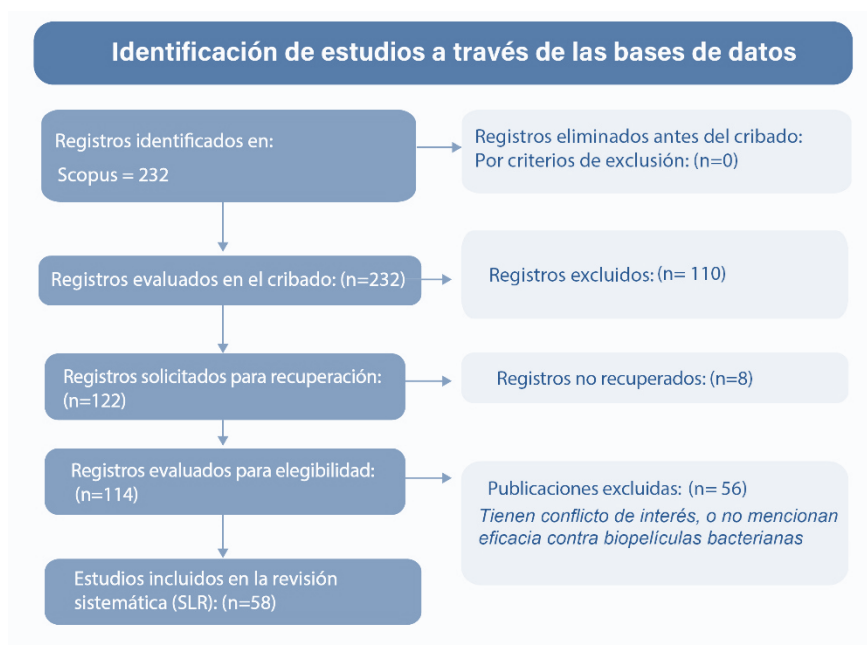


Figura 1. Proceso PRISMA. Identificación de estudios a través de las bases de datos

RQ1. Nanopartícula más usada para impedir la formación de biopelículas bacterianas en el área odontológica

Según los estudios analizados la nanopartícula más utilizada para prevenir la formación de biopelículas bacterianas en el ámbito odontológico es la nanopartícula de plata (AgNPs). Esta ha sido ampliamente estudiada debido a su excepcional capacidad antimicrobiana contra una variedad de bacterias, incluidas aquellas asociadas con enfermedades dentales como *Streptococcus mutans* y *Porphyromonas gingivalis*. Autores como Abbas et al. ⁽¹²⁾, Hossain et al ⁽¹³⁾, y Hamad y Atiyea ⁽¹⁴⁾ demuestran que las AgNPs pueden inhibir eficazmente el crecimiento bacteriano y la formación de biopelículas en superficies y materiales utilizados en odontología, como resinas, porcelana dental, implantes y recubrimientos de alineadores ortodónticos. ⁽⁶⁾

Además de su potente actividad antimicrobiana, las AgNPs también han demostrado ser compatibles con los tejidos y biocompatibles. ^(4,15) Esto es crucial en odontología, donde la seguridad y la tolerancia de los materiales son de suma importancia para el éxito del tratamiento y la salud a largo plazo de los pacientes.

Otras nanopartículas, como el óxido de zinc (ZnO) y el dióxido de titanio (TiO₂), también han mostrado promesas en la prevención de biopelículas bacterianas en odontología. ^(3,10) Sin embargo, las AgNPs siguen siendo una opción popular debido a su probada eficacia y amplia disponibilidad. En la figura 2 se presenta una síntesis de las nanopartículas más usadas para impedir la formación de biopelículas bacterianas y su porcentaje de mención en los estudios.

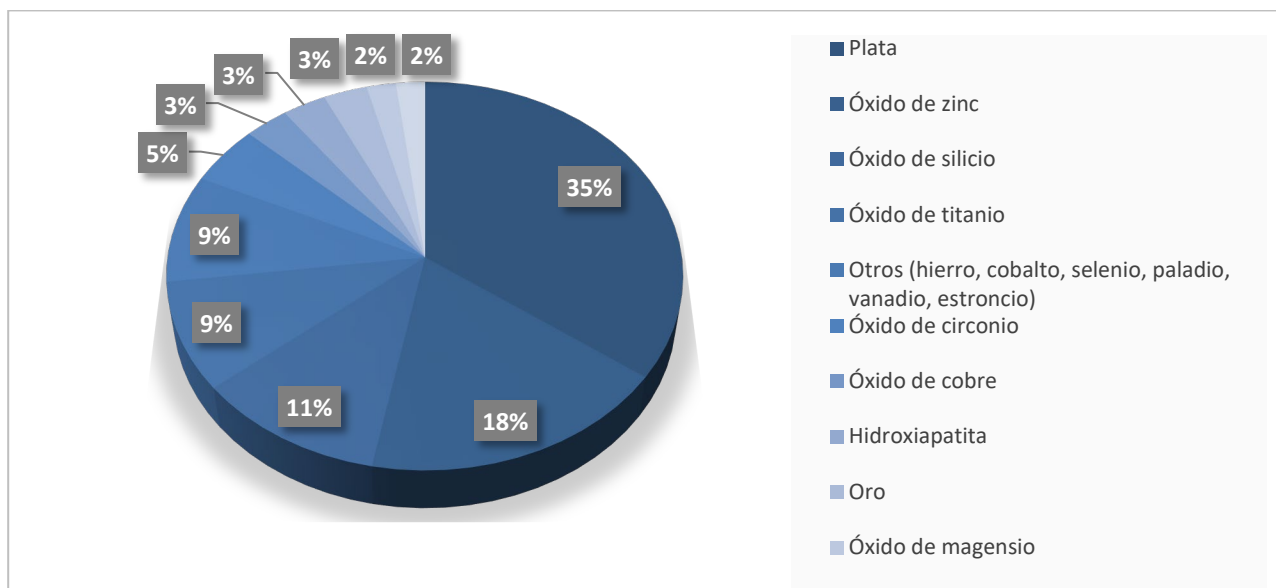


Figura 2. Nanopartícula más usada para impedir la formación de biopelículas bacterianas

RQ2. Métodos de síntesis y caracterización de nanopartículas para combatir biopelículas bacterianas

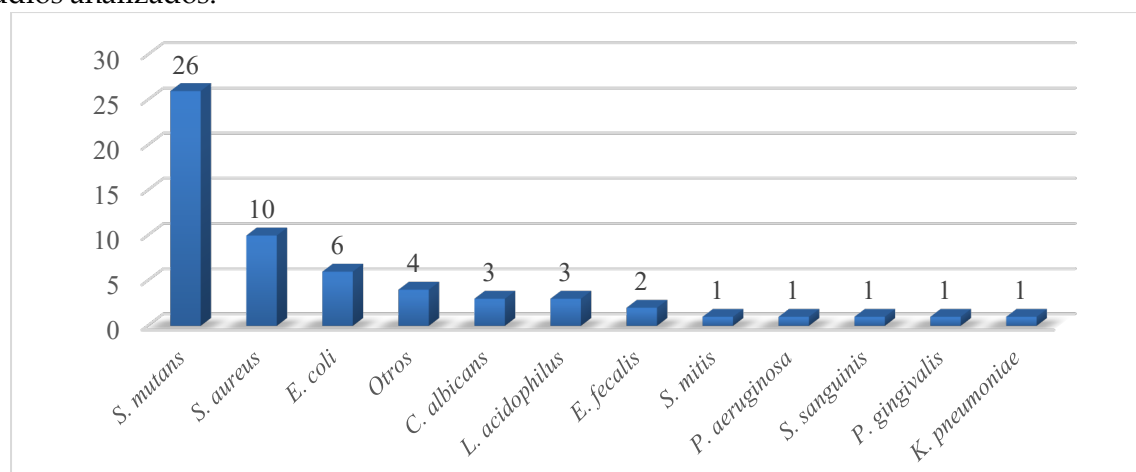
Para responder a la segunda pregunta de investigación se revisaron 17 artículos enfocados en la síntesis de nanopartículas y que abarcaban una variedad de procesos, lo que permitió realizar una síntesis que resaltaba la diversidad de métodos utilizados para sintetizar diferentes tipos de nanopartículas, cada uno con sus propias características y aplicaciones específicas. La tabla 2 proporciona un resumen de los métodos mencionados y ofrece una visión general de las técnicas empleadas en este campo de investigación.

Tabla 2. Métodos de síntesis y caracterización de nanopartículas

Formas de sintetizar nanopartículas en odontología	
Síntesis por métodos físicos:	S-12: Síntesis de nanopartículas de TiO ₂ mediante la mezcla de extracto acuoso con isopropóxido de titanio. ⁽¹⁶⁾
Síntesis por métodos químicos:	Métodos de reducción química: S-8: Reducción química acuosa de nitrato de plata utilizando ácido gálico. ⁽¹⁷⁾
	Métodos de coprecipitación: S-4: Síntesis de nanopartículas de plata por dispersión, seguida de sonicación, centrifugación, lavado y secado. ⁽¹⁸⁾ S-19: Síntesis de nanopartículas de CuO mediante reacción de acetato de cobre con hidróxido de sodio y posterior calcinación. ⁽¹⁹⁾
	Métodos sol-gel: S-5: Síntesis de nanopartículas Co _{1-x} Zn _x O mediante el método sol-gel
	Métodos de precipitación húmeda: S-55: Síntesis de nanopartículas de ZnO por precipitación y calcinación de hidróxido de sodio y nitrato de zinc. ⁽²⁰⁾
	Métodos de extracción biológica: S-22: Síntesis de nanopartículas de plata utilizando extracto de té verde, ajuste de pH y centrifugación. S-54: Síntesis de nanopartículas de plata mediante bioreducción con goma arábiga. ⁽²¹⁾
	Métodos de síntesis verde: S-16: Preparación de alineadores Invisalign recubiertos con AuDAPT. ⁽²²⁾
Caracterización y análisis:	S-30: Caracterización de nanopartículas de TiO ₂ mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM). ⁽⁹⁾

RQ3. Tipo de bacterias que combaten estas nanopartículas

Las nanopartículas utilizadas en odontología han demostrado ser efectivas contra una amplia gama de bacterias asociadas con enfermedades dentales. Por ejemplo, las nanopartículas de plata (AgNPs) han mostrado una destacada actividad antimicrobiana contra bacterias como *Streptococcus mutans*, *Porphyromonas gingivalis* y *Staphylococcus aureus* ^(4, 23, 24). Estos estudios sugieren que las AgNPs pueden ser una herramienta prometedora en la lucha contra las infecciones bacterianas en el contexto odontológico, ya que han demostrado ser eficaces tanto contra bacterias grampositivas como gramnegativas. En la Figura 3 se presentan las bacterias más frecuentemente mencionadas en los estudios analizados.

**Figura 3.** Bacterias susceptibles a nanopartículas

Además de las AgNPs, otros tipos de nanopartículas también han mostrado capacidad para combatir bacterias orales. Por ejemplo, nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) y dióxido de titanio (TiO₂) han reducido la adhesión bacteriana, incluida la de *S. mutans*.⁽¹⁰⁾ Esto sugiere que una variedad de nanopartículas puede tener aplicaciones potenciales en la prevención y tratamiento de enfermedades dentales al interferir con la formación de biopelículas bacterianas en la cavidad oral.

Es importante destacar que la actividad antimicrobiana de estas nanopartículas se ha demostrado en una variedad de contextos, desde recubrimientos de alineadores ortodónticos hasta resinas dentales y recubrimientos de implantes. Esto sugiere que estas nanopartículas pueden ser incorporadas en una amplia gama de materiales odontológicos para mejorar su capacidad para prevenir infecciones bacterianas y promover la salud oral. Sin embargo, es necesario seguir investigando para comprender mejor su eficacia a largo plazo y sus posibles efectos secundarios en el cuerpo humano.

Discusión

Se puede apreciar que varios autores convergen en puntos clave, aunque también se observan algunas diferencias en las nanopartículas específicas destacadas y los énfasis dados en ciertos aspectos. Por ejemplo, Abbas et al.⁽¹²⁾, Hossain et al.⁽¹³⁾ y Hamad y Atiyea⁽¹⁴⁾ enfatizan en el papel predominante de las nanopartículas de plata (AgNPs) en la inhibición del crecimiento bacteriano y la formación de biofilms en materiales dentales.⁽²⁵⁾ Estos estudios respaldan la capacidad antimicrobiana excepcional de las AgNPs contra una variedad de bacterias, incluidas aquellas asociadas con enfermedades dentales comunes como *Streptococcus mutans* y *Porphyromonas gingivalis*.

Sin embargo, autores como Kumaravel et al.⁽³⁾ y Gul et al.⁽¹⁰⁾ sugieren que otras nanopartículas, como el óxido de zinc (ZnO) y el dióxido de titanio (TiO₂), también merecen atención en la prevención de biopelículas bacterianas en odontología. Aunque estas nanopartículas pueden no ser tan destacadas como las AgNPs, su efectividad contra bacterias orales, incluida *S. mutans*, es notable. Este enfoque más diversificado sugiere que hay múltiples opciones a considerar en el campo de la odontología para combatir la colonización bacteriana y prevenir enfermedades dentales.

Además, Wang et al.⁽¹⁵⁾ y Takamiya et al.⁽⁴⁾ ponen énfasis en la importancia de la biocompatibilidad y la seguridad de los materiales utilizados en odontología.⁽⁷⁾ Destacan que, si bien la eficacia antimicrobiana de las nanopartículas es crucial, debe garantizarse que los materiales sean seguros y tolerables para los pacientes a largo plazo. Esta consideración subraya la complejidad de la selección de materiales en odontología, donde se deben equilibrar diversos factores, desde la eficacia antimicrobiana hasta la biocompatibilidad y la seguridad.

En cuanto a la síntesis de nanopartículas para aplicaciones odontológicas, se observa una variedad de enfoques y métodos utilizados por los investigadores. Según los hallazgos de varios estudios revisados, se destaca que diferentes autores han empleado diversos procesos de síntesis, como la síntesis química y métodos verdes, para obtener nanopartículas con propiedades específicas y aplicaciones en odontología.⁽¹⁹⁾ Estos métodos de síntesis ofrecen la posibilidad de controlar el tamaño, la forma y la composición de las nanopartículas, determinante para optimizar su eficacia antimicrobiana y biocompatibilidad en aplicaciones dentales.⁽⁴⁾

Asimismo, los estudios también resaltan la importancia de la caracterización adecuada de las nanopartículas sintetizadas, utilizando técnicas como la microscopía electrónica de transmisión (TEM) y la espectroscopia de dispersión de energía (EDS), para comprender mejor sus propiedades y comportamiento en entornos dentales.⁽²³⁾ Estos hallazgos enfatizan en la necesidad de una investigación continua para desarrollar métodos de síntesis más eficientes y caracterización detallada de nanopartículas para su aplicación clínica en odontología.

La actividad antibacteriana de las nanopartículas en odontología ha sido objeto de extensa investigación. ⁽¹²⁾ Este estudio demostró que las nanopartículas de plata (Ag NPs) poseen una actividad antibacteriana significativa contra *Streptococcus mutans*, una bacteria asociada con la caries dental. Además, el estudio reveló que el tratamiento combinado con láseres de diodo de diferentes longitudes de onda potenció aún más la actividad antimicrobiana, lo que sugiere un enfoque prometedor para mejorar la eficacia de las nanopartículas en la prevención y tratamiento de enfermedades dentales. Chokkattu et al. ⁽²⁶⁾ describen cómo las nanopartículas de dióxido de titanio mediadas por extractos de clavo y jengibre exhiben una alta eficacia antibacteriana, ofreciendo una alternativa natural y efectiva a los agentes antimicrobianos convencionales.

Otro aspecto crucial en el estudio de las nanopartículas en odontología es su capacidad para proporcionar beneficios adicionales más allá de la actividad antibacteriana. Por ejemplo, Kaptan et al. ⁽⁸⁾ destacan cómo las superficies inteligentes recubiertas con nanopartículas de plata ofrecen una combinación única de resistencia a la corrosión y actividad antibacteriana contra *Staphylococcus aureus*, lo que las hace ideales para su uso en cirugía de trasplantes dentales. Asimismo, Weng et al. ⁽²⁷⁾ presentan un sistema de liberación de fármacos basado en nanopartículas de PLGA cargadas con triclosán, un agente antimicrobiano, que demuestra una capacidad efectiva para interferir con los biofilms de *Streptococcus mutans*. Estos estudios destacan el potencial multifacético de las nanopartículas en odontología, que van más allá de su acción antibacteriana y abordan una variedad de desafíos clínicos en el campo de la salud oral.

Conclusiones

Los resultados de la revisión revelaron que la nanopartícula de plata (AgNPs) fue la más utilizada para prevenir la formación de biopelículas bacterianas en el ámbito odontológico. Su eficacia antimicrobiana contra una amplia gama de bacterias, incluidas aquellas asociadas con enfermedades dentales como *Streptococcus mutans* y *Porphyromonas gingivalis*, fue ampliamente documentada en los estudios analizados. Además, se destacaron otras nanopartículas, como el óxido de zinc (ZnO) y el dióxido de titanio (TiO₂), como alternativas prometedoras en la lucha contra las infecciones bacterianas en el contexto odontológico. En cuanto a los métodos de síntesis y caracterización de nanopartículas, se observó una diversidad de enfoques empleados por los investigadores. Desde la síntesis química hasta métodos verdes, se utilizaron diversas técnicas para obtener nanopartículas con propiedades específicas y aplicaciones en odontología. Este hallazgo subraya la importancia de una investigación continua para desarrollar métodos de síntesis más eficientes y caracterización detallada de nanopartículas para su aplicación clínica. Existe una convergencia en la importancia de las AgNPs en la inhibición del crecimiento bacteriano como *Streptococcus mutans*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, aunque también se destacaron otras nanopartículas y métodos de síntesis como alternativas válidas. Además, se enfatizó la necesidad de considerar la biocompatibilidad y la seguridad de los materiales utilizados en odontología, así como el potencial multifacético de las nanopartículas más allá de su actividad antibacteriana.

Recomendaciones

Esta revisión sistemática proporciona una visión integral del uso de nanopartículas en odontología, destacando su potencial como agentes antimicrobianos y su relevancia en la prevención y tratamiento de enfermedades dentales. Sin embargo, se señala la importancia de continuar investigando para comprender mejor su eficacia a largo plazo y sus posibles efectos secundarios en los pacientes, lo que sugiere un camino prometedor, pero aún en evolución para la aplicación clínica de las nanopartículas en odontología.

Referencias Bibliográficas

1. Bai X, Lin C, Wang Y, Ma J, Wang X, Yao X, et al. Preparation of Zn doped mesoporous silica nanoparticles (Zn-MSNs) for the improvement of mechanical and antibacterial properties of dental resin composites. *Dent Mater.* 2020;36(6):794-807. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.03.026>
2. Beketova A, Tzanakakis EGC, Vouvoudi E, Anastasiadis K, Rigos AE, Pandoleon P, et al. Zirconia Nanoparticles as Reinforcing Agents for Contemporary Dental Luting Cements: Physicochemical Properties and Shear Bond Strength to Monolithic Zirconia. *Int J Mol Sci* [Internet]. 2023;24(3). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijms24032067>
3. Kumaravel V, Nair KM, Mathew S, Bartlett J, Kennedy JE, Manning HG, et al. Antimicrobial TiO₂ nanocomposite coatings for surfaces, dental and orthopaedic implants. *Chem Eng J* [Internet]. 2021;416. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129071>
4. Takamiya AS, Monteiro DR, Gorup LF, Silva EA, de Camargo ER, Gomes-Filho JE, et al. Biocompatible silver nanoparticles incorporated in acrylic resin for dental application inhibit *Candida albicans* biofilm. *Mater Sci Eng C* [Internet]. 2021;118. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.111341>
5. Thyagarajan R, Narendrakumar G, Rameshkumar V, Varshiney M. Green synthesis of Zirconia nanoparticles based on ginger root extract: Optimization of reaction conditions, application in dentistry. *Res J Pharm Technol.* 2022;15(11):5314-20. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.52711/0974-360X.2022.00895>
6. Barot T, Rawtani D, Kulkarni P. Physicochemical and biological assessment of silver nanoparticles immobilized Halloysite nanotubes-based resin composite for dental applications. *Heliyon* [Internet]. 2020;6(3). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03601>
7. Jaisankar AI, Rajeshkumar S, Ezhilarasan D. Applications of silver nanoparticles in dentistry. *Int J Res Pharm Sci.* 2020;11(Special Issue 3):1126-31. Disponible en: <https://doi.org/10.7759/cureus.44090>
8. Kaptan Usul S, Aslan A, Lülec HB, Ergüden B, Çöpoğlu MT, Oflaz H, et al. Investigation of antimicrobial and mechanical effects of functional nanoparticles in novel dental resin composites. *J Dent* [Internet]. 2022;123. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104180>
9. Arslan S, Ekrikaya S, Ildiz N, Yusufbeyoglu S, Ochoy İ. Evaluation of the antibacterial activity of dental adhesive containing biogenic silver nanoparticles decorated nanographene oxide nanocomposites (Ag@nGO NCs) and effect on bond strength to dentine. *Odontology.* 2024;112(2):341-54. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10266-023-00836-7>
10. Gul N, Idrees QTA, Fareed MA, Mian SA, Nasim HMO, Naz F, et al. Biological and Physicochemical Characterization of Self-Adhesive Protective Coating Dental Restorative Material after Incorporation of Antibacterial Nanoparticles. *Polym* [Internet]. 2022;14(20). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/polym14204280>
11. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología.* 1 de septiembre de 2021;74(9):790-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
12. Abbas RH, Haleem AM, Kadhim A. The antimicrobial effect of simultaneously applying different diode lasers and silver nanoparticles synthesized by laser ablation on bacterial dental caries. *Appl Nanosci (Switzerland).* 2023;13(8):5589-603. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13204-023-02776-8>

13. Hossain N, Chowdhury DMA, Hossain A, Ahmed MS, Rana MM, Sultana S. Synthesis and characterization of *Alocasia indica* infused silver nanoparticles for dental implant applications. *Chem Phys Impact* [Internet]. 2023;6. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2023.100239>
14. Hamad AM, Atiyea QM. Study the Effect of Zinc Oxide Nanoparticles and *Dianthus Caryophyllus* L. Extract on *Streptococcus Mutans* Isolated from Human Dental Caries in Vitro. En: Jawad L.A.H.M., Hussain F.F.K., Almurshedi A.F., Ali T.H., Al-Mussawi H.K., Kadhem S.K., et al., editores. *AIP Conf Proc* [Internet]. American Institute of Physics Inc.; 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1063/5.0094583>
15. Wang Y, Ding Y, Deng J, Nie R, Meng X. Antibacterial one-step self-etching dental adhesive with silver nanoparticles synthesized in situ. *J Dent* [Internet]. 2023;129. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104411>
16. Chifor E, Bordeianu I, Anastasescu C, Calderon-Moreno JM, Bratan V, Eftemie DI, et al. Bioactive Coatings Based on Nanostructured TiO₂ Modified with Noble Metal Nanoparticles and Lysozyme for Ti Dental Implants. *Nanomaterials*. 14 de septiembre de 2022;12(18):3186. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/nano12183186>
17. Ortiz-Magdaleno M, Sánchez-Vargas L, Gardea-Contreras D, Campos-Ibarra V, Pozos-Guillén A, Márquez-Preciado R. Antibiofilm properties of silver nanoparticles incorporated into polymethyl methacrylate used for dental applications. *BME*. 3 de julio de 2023;34(4):357-73. Disponible en: <https://doi.org/10.3233/BME-222513>
18. Khan A, Alhamdan Y, Alibrahim H, Almulhim K, Nawaz M, Ahmed S, et al. Analyses of Experimental Dental Adhesives Based on Zirconia/Silver Phosphate Nanoparticles. *Polymers*. 8 de junio de 2023;15(12):2614. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/polym15122614>
19. Javed R, Rais F, Kaleem M, Jamil B, Ahmad MA, Yu T, et al. Chitosan capping of CuO nanoparticles: Facile chemical preparation, biological analysis, and applications in dentistry. *International Journal of Biological Macromolecules*. enero de 2021;167:1452-67. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.099>
20. Hassan ZJS, Hamid MK, Ahmed ME. Synthesized Zinc Oxide Nanoparticles by The Precipitation Method on *Streptococcus Spp* From Dental Carries and Cytotoxicity Assay. *IJDDT*. 30 de junio de 2022;12(03):1327-30. <https://doi.org/10.25258/ijddt.12.3.65>
21. Al-Ansari MM, Al-Dahmash ND, Ranjitsingh AJA. Synthesis of silver nanoparticles using gum Arabic: Evaluation of its inhibitory action on *Streptococcus mutans* causing dental caries and endocarditis. *Journal of Infection and Public Health*. marzo de 2021;14(3):324-30. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2020.12.016>
22. Zhang M, Liu X, Xie Y, Zhang Q, Zhang W, Jiang X, et al. Biological Safe Gold Nanoparticle-Modified Dental Aligner Prevents the *Porphyromonas gingivalis* Biofilm Formation. *ACS Omega*. 4 de agosto de 2020;5(30):18685-92. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01532>
23. Rodrigues MC, Rolim WR, Viana MM, Souza TR, Gonçalves F, Tanaka CJ, et al. Biogenic synthesis and antimicrobial activity of silica-coated silver nanoparticles for esthetic dental applications. *J Dent* [Internet]. 2020;96. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103327>
24. Zhang M, Liu X, Xie Y, Zhang Q, Zhang W, Jiang X, et al. Biological Safe Gold Nanoparticle-Modified Dental Aligner Prevents the *Porphyromonas gingivalis* Biofilm Formation. *ACS Omega*. 2020;5(30):18685-92. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01532>

25. Aguiar JD, Pedrosa MS, Toma SH, Araki K, Marques MM, Medeiros IS. Antibacterial effect, cytotoxicity, and bond strength of a modified dental adhesive containing silver nanoparticles. *Odontology*. 2023;111(2):420-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10266-022-00752-2>
26. Chokkattu JJ, Mary DJ, Shanmugam R, Neeharika S. Evaluation of Clove and Ginger-mediated Titanium Oxide Nanoparticles-based Dental Varnish against *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus* Species: An In Vitro Study. *World J Dent*. 2023;14(3):233-7. Disponible en: <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10015-2185>
27. Weng L, Wu L, Guo R, Ye J, Liang W, Wu W, et al. Lactobacillus cell envelope-coated nanoparticles for antibiotic delivery against cariogenic biofilm and dental caries. *J Nanobiotechnology* [Internet]. 2022;20(1). Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01563-x>

Transparencia

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés que influyan en la objetividad de este estudio.

Fuente de financiamiento

No se recibieron fondos financieros de ninguna organización que pudiera tener interés en los resultados presentados.

Contribución de autoría

Henry Fabricio Mejía Mosquera: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Verónica Alejandra Guamán Hernández: Validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, recursos.

Los autores contribuyeron activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.