



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR

CARRERA DE ODONTOLOGÍA

**NANOPARTÍCULAS EN BIOMATERIALES DE USO
ODONTOLÓGICO Y SU EFECTO ANTIMICROBIANO.
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ODONTÓLOGO**

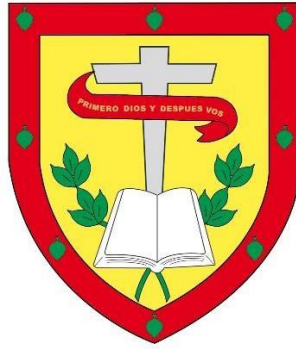
AUTOR: ELIAN MIGUEL ILLESCAS QUEZADA

DIRECTOR: DR. CARLOS FERNANDO ANDRADE TACURI

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR

CARRERA DE ODONTOLOGÍA

NANOPARTÍCULAS EN BIOMATERIALES DE USO
ODONTOLÓGICO Y SU EFECTO ANTIMICROBIANO. REVISIÓN
BIBLIOGRÁFICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ODONTÓLOGO**

AUTOR: ELIAN MIGUEL ILLESCAS QUEZADA

DIRECTOR: DR. CARLOS FERNANDO ANDRADE TACURI

CUENCA – ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Nanopartículas en biomateriales de uso odontológico y su efecto antimicrobiano. Revisión Bibliográfica

Elian Illescas¹, Carlos Andrade², Paola Orellana³.

¹ Estudiante Carrera de Odontología. Universidad Católica de Cuenca. Cuenca – Ecuador

<https://orcid.org/0009-0008-7719-9042>

² PhD. en Ciencias de la Salud. MSc. en Biotecnología Molecular. Unidad Académica de Salud y Bienestar. Carrera de Odontología, Laboratorio de Biología Molecular y Genética del Centro de Investigación Innovación y Transferencia de Tecnología de la Universidad Católica de Cuenca (CIITT). Grupo de investigación en genética y biología molecular de microorganismos. Cuenca - Ecuador. <https://orcid.org/0000-0003-3983-1314>

³PhD. en Ciencias de la Salud. Carrera de Odontología, Laboratorio de Biotecnología del Centro de Investigación Innovación y Transferencia de Tecnología de la Universidad Católica de Cuenca (CIITT). Grupo de investigación en genética y biología molecular de microorganismos. Cuenca - Ecuador. <https://orcid.org/0000-0001-6276-0521>

RESUMEN

Objetivo: El objetivo de esta investigación bibliográfica es compilar información sobre la agregación de nanopartículas en biomateriales odontológicos y su efecto antimicrobiano. **Materiales y métodos:** Se realizó una revisión en bases de datos académicas como Scielo, Pubmed y Google Scholar, aplicando filtros de búsqueda para seleccionar 25 artículos científicos de hasta 8 años de antigüedad. Los criterios de inclusión consideraron investigaciones publicadas desde 2016 en español e inglés, mientras que se excluyeron fuentes no científicas y documentos sin fecha de publicación.

Resultados: Las nanopartículas, especialmente las de plata, mejoran las propiedades antimicrobianas de biomateriales odontológicos, mostrando eficacia contra bacterias como *Streptococcus mutans*, responsable de caries. Su uso en tratamientos dentales puede reducir el riesgo de infecciones.

Conclusión: las nanopartículas ofrecen una opción prometedora para desarrollar biomateriales más resistentes y biocompatibles. Su efecto antimicrobiano puede contribuir a la prevención de infecciones en procedimientos dentales. No obstante, se requieren investigaciones adicionales para entender mejor los mecanismos de acción de las nanopartículas en el entorno oral y su seguridad en aplicaciones clínicas a largo plazo.

Palabras clave: biomateriales, nanopartículas, resistencia bacteriana

ABSTRACT

Objective: This bibliographic research aims to compile information on the aggregation of nanoparticles in dental biomaterials and their antimicrobial effect.

Materials and Methods: A review was conducted in academic databases such as SciELO, PubMed, and Google Scholar, applying search filters to select 25 scientific articles published within the last eight years. The inclusion criteria considered research published since 2016 in both Spanish and English, while non-scientific sources and documents without publication dates were excluded.

Results: Nanoparticles, especially silver ones, enhance the antimicrobial properties of dental biomaterials, demonstrating efficacy against bacteria such as *Streptococcus mutans*, which are responsible for cavities. Their use in dental treatments may reduce the risk of infections. **Conclusion:** Nanoparticles are

promising for developing more resistant and biocompatible biomaterials. Their antimicrobial effects may contribute to the prevention of infections in dental procedures. However, further research is needed to understand better the mechanisms of action of nanoparticles in the oral environment and their safety in long-term clinical applications.

Keywords: biomaterials, nanoparticles, bacterial resistance

INTRODUCCIÓN

La investigación y el desarrollo de biomateriales son esenciales para garantizar la salud bucodental de los pacientes y mejorar los tratamientos dentales. Estos materiales han revolucionado la práctica odontológica, al ofrecer soluciones innovadoras que promueven la regeneración tisular, mejoran la biocompatibilidad y prolongan la durabilidad de los efectos de los tratamientos(1). Sin embargo, tanto la prevención como el control de infecciones bacterianas relacionadas con las afecciones clínicas, como las caries dentales, las enfermedades periodontales y las infecciones postoperatorias, se mantienen entre los problemas más persistentes de la odontología (2).

En este contexto, las nanopartículas se han tornado en una herramienta prometedora en la mejora de los biomateriales odontológicos. Estas diminutas estructuras, que varían en tamaño desde 1 hasta 100 nanómetros, poseen propiedades únicas que las hacen ideales para numerosas aplicaciones biomédicas, incluida la odontología (3). Al ser incorporadas en biomateriales, las nanopartículas pueden alterar significativamente las propiedades físicas y químicas de estos, confiriéndoles nuevas funcionalidades y mejoras en su desempeño clínico(4) .

La utilidad de las nanopartículas en biomateriales odontológicos es multifacética, por un lado, pueden fortalecer la estructura de los materiales, aumentar su resistencia mecánica y mejorar su manipulación durante los procedimientos clínicos. Por otro lado, su capacidad para liberar agentes terapéuticos de manera controlada, les permite actuar como vehículos de entrega de fármacos, promoviendo la regeneración tisular o inhibiendo el crecimiento bacteriano (5). El aspecto más novedoso de los biomateriales dentales, que ha despertado la curiosidad de la comunidad científica, ha sido la actividad antimicrobiana de las nanopartículas, lo cual ha suministrado una estrategia prometedora para combatir las infecciones bacterianas asociadas con procedimientos odontológicos(6). Algunas nanopartículas, como el óxido de zinc, óxido de titanio y plata, han demostrado una notable capacidad para inhibir el desarrollo y, a su vez, la proliferación de una amplia variedad de microorganismos patógenos, incluidas las bacterias responsables de las principales enfermedades bucodentales. Esta acción antimicrobiana no solo ayuda a prevenir infecciones postoperatorias, sino que también contribuye a la conservación de los tejidos dentales y al éxito a largo plazo de los tratamientos(7).

La investigación sobre la actividad antibacteriana de las nanopartículas en los biomateriales dentales, es cada vez más importante, a medida que aumenta la preocupación por la resistencia bacteriana a los antibióticos tradicionales y la necesidad de crear técnicas de tratamiento más seguras y eficaces(8). Al reducir la frecuencia de las infecciones relacionadas con la atención odontológica, este apasionante campo de estudio, no sólo tiene el potencial de mejorar el nivel de la atención odontológica, sino también de realizar una importante contribución a la salud pública(9) .

En este sentido, la presente investigación bibliográfica, tiene por objetivo compilar información existente sobre la agregación de nanopartículas en biomateriales de uso odontológico y su efecto antimicrobiano.

MARCO METODOLÓGICO

Se realizó una revisión bibliográfica en bases de datos de índole académica y científica, como: Scielo, Pubmed y Google Scholar, empleando filtros de búsqueda referentes a tipos y antigüedad de los artículos, explorando investigaciones originales y artículos de "nanopartículas en biomateriales de uso odontológicos" y "efecto antimicrobiano", conjugados con operadores booleanos con la finalidad de refinar la búsqueda que permita alcanzar resultados más puntuales. Posteriormente, se dio uso al método deductivo, mediante el cual se categorizó el referente teórico desde sus temas globales en dirección de los particulares.

Una vez concluida la búsqueda, se organizó las fuentes bibliográficas que integran este protocolo como soporte teórico, siendo estas 25 investigaciones de artículos científicos con un máximo de 8 años de antigüedad. Además, la selección de las indagaciones se realizó mediante la evaluación de criterios de inclusión y exclusión, para categorizarlos de acuerdo a su aporte y relevancia.

Siendo así, los criterios de inclusión aplicados a los estudios preliminares consideraron

- Indagaciones publicadas a partir de 2016.
- Artículos científicos.
- Investigaciones en idioma español e inglés.

Por su parte, los aspectos de exclusión estimaron a:

- Sitios web cuya procedencia no fuese científica.
- Documentos sin fechas de publicación

Tabla 1. Estrategias de búsqueda

ESTRATEGIAS DE BÚSQUEDA	Pub Med	Semantic Scholar	Elsevier
Platelet rich fibrin AND regeneration AND dentistry	29	7	6
Use of platelet rich fibrin AND dentistry AND <i>in vivo</i> study	2	7	2
Use of platelet rich fibrin AND dentistry AND <i>in vitro</i> study	3	8	2
Platelet concentrates AND blood buffy coat	35	37	27
Platelet rich fibrin AND Choukroun	0	5	0
TOTAL	69	64	37

DESARROLLO

Nanopartículas en biomateriales odontológicos

La nanotecnología esta descrita como una disciplina enfocada en el desarrollo de innovadores materiales que llegan a tener entre 1 a 100 nanómetros, con diversas propiedades y funciones como: bactericidas, antifúngicas y algunas pueden también transportar diversos fármacos. Los nanomateriales se presentan en varias formas y tamaños, clasificándose según sus dimensiones, en nanopartículas, nanobarras, películas delgadas y nanoconos (10) .

Una de sus características más relevantes es su gran relación superficie-volumen, lo que implica una alta actividad química y una mayor capacidad de interacción con moléculas biológicas (11). Además, su tamaño reducido les

otorga principales ventajas, como, resistencia a fuerzas físico-mecánicas (resistencia a rayones), ductilidad, transparencia, conductividad, mejora de propiedades ópticas y la capacidad de liberación de agentes bioactivos, que pueden ser aprovechadas para diversas aplicaciones en odontología (12).

En este sentido, los biomateriales ejercen un rol esencial en la odontología moderna al proporcionar soluciones innovadoras para una amplia gama de aplicaciones clínicas. Estos materiales se utilizan en procedimientos que van desde la restauración de tejidos dentales dañados hasta la reconstrucción de estructuras maxilofaciales(2). La importancia de los biomateriales radica en su capacidad para mejorar la biocompatibilidad, la resistencia mecánica y la estética de los tratamientos, así como servir de transportadores de fármacos en la administración de antibióticos y antiinflamatorios.(13).

Por lo tanto, la incorporación de nanopartículas en biomateriales odontológicos, permite mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, ampliando así su gama de aplicaciones clínicas. Estas pueden ser añadidas a matrices poliméricas, cerámicas o compuestas, durante la fabricación de los biomateriales, mediante técnicas específicas de síntesis y procesamiento.(12).

A saber, en odontología se emplean diversos tipos de nanopartículas en la formulación de biomateriales con propiedades mejoradas. Entre las más utilizadas se encuentran las nanopartículas de plata (AgNP), dióxido de silicio (SiO_2), óxido de zinc (ZnO), óxido de titanio (TiO_2), entre otras. Cada tipo de nanopartícula tiene características específicas que determinan su aplicabilidad en diferentes contextos clínicos(14).

Por ejemplo, AgNP son conocidas por su actividad antimicrobiana, mientras que las de óxido de zinc pueden mejorar la biocompatibilidad y la resistencia mecánica de los biomateriales. La selección del tipo de nanopartícula adecuado depende de las necesidades específicas del tratamiento y las propiedades deseadas del biomaterial (15).

Aplicaciones dentales de las nanopartículas

Dado que las nanopartículas tienen un tamaño muy pequeño y pueden producir eficazmente la lisis celular, se utilizan en diversas aplicaciones dentales como:

- Aditivo en materiales odontológicos para el tratamiento de la hipersensibilidad dental.
- Importante componente en el diagnóstico y tratamiento del cáncer.
- Las nano fibras y las nano agujas (en apósitos) son dos de los muchos tipos de nanopartículas que se utilizan en el tratamiento de heridas (16).

Debido a la naturaleza antibacteriana de las nanopartículas, se utilizan en revestimientos de cavidades, selladores de fosas y fisuras, cementos, postes de fibra y odontología restauradora (para mejorar la calidad del tratamiento mediante la remineralización del diente(16). Combinando polvos de impresión de alginato con agua que contenga hidrosol de plata, se puede fabricar un medio de impresión con propiedades antimicrobianas, que reduzca la contaminación al modelo de yeso vertido, procedente del paciente; lo cual reduciría a su vez la contaminación cruzada a mecánicos dentales u otros pacientes. Debido a las propiedades adicionales de las nanopartículas, que son hidrófilas por naturaleza y mejoran el flujo del material de impresión, se añaden nanorrellenos a los materiales de siloxano polivinílico para mejorar los detalles de los dientes(16).

Propiedades antimicrobianas de las nanopartículas

Las nanopartículas han demostrado numerosos modos de acción antimicrobiana, como la ruptura de las membranas celulares, la producción de especies reactivas de oxígeno, la interrupción de la replicación del ADN y la inhibición de enzimas esenciales para el metabolismo bacteriano. Uno de los métodos más investigados es la liberación de iones metálicos por las nanopartículas de plata, que pueden interactuar con las membranas celulares de los microorganismos y provocar su inestabilidad y posterior muerte celular(17).

Además, las nanopartículas pueden penetrar en el interior de las bacterias, virus y hongos, donde pueden interferir con procesos metabólicos vitales, como respiración celular y síntesis de proteínas, llevando a la inhibición del crecimiento bacteriano y eventual eliminación de los microorganismos. En este contexto, se ha demostrado que las nanopartículas de plata presentan una potente actividad antimicrobiana de amplio espectro, además, el óxido de zinc, dióxido de titanio y sílice, también muestran efectividad contra microorganismos bucodentales, comúnmente asociados con enfermedades orales como *Streptococcus mutans*, *Porphyromonas gingivalis* y *Candida albicans*(17,18).

De este modo, las AgNp pueden unirse a soportes físicos donde mantienen su actividad antimicrobiana, generando grandes expectativas para la administración de sustancias, donde ha sido bien visto en las áreas médicas y tecnológicas, ya que pueden penetrar más fácilmente en las células bacterianas y generar una mayor cantidad de especies reactivas(19).

Aunque las nanopartículas metálicas muestran un gran potencial en el control de infecciones, se ha encontrado que algunas mutaciones bacterianas han

generado cierto grado de resistencia bacteriana, es importante tener en cuenta que las dosis necesarias para alcanzar el efecto bactericida son menores, lo que disminuye la posibilidad de efectos adversos y toxicidad(20).

Métodos de evaluación del efecto antimicrobiano de nanopartículas en biomateriales odontológicos

A saber, un método que se utiliza con frecuencia para evaluar la actividad antibacteriana de las nanopartículas en biomateriales dentales es el ensayo de difusión en agar. En este método, se prepara una placa de agar con una capa uniforme de microorganismos patógenos, como bacterias bucales relevantes. Luego, se colocan discos impregnados con nanopartículas en la superficie del agar y se incuba la placa a una temperatura adecuada durante un período de tiempo determinado. La actividad antimicrobiana de las nanopartículas se evalúa mediante la formación de zonas de inhibición alrededor de los discos, donde no hay crecimiento bacteriano, lo que indica la efectividad de las nanopartículas para inhibir el crecimiento de los microorganismos (21,22) .

Dicho esto, las técnicas de microbiología convencionales (siembra en placas), MALDI MS y la determinación de la densidad óptica, también se utilizan para evaluar el efecto antimicrobiano en biomateriales odontológicos. Estas técnicas consisten en cultivar bacterias en presencia de biomateriales que contienen nanopartículas y medir la densidad óptica de la suspensión bacteriana u observar la formación de colonias en placas de agar para determinar la cantidad de crecimiento bacteriano. La reducción en el número de colonias o en la densidad óptica indica la capacidad de las nanopartículas para inhibir el crecimiento bacteriano(23). Por ende, la microscopía electrónica de barrido o SEM junto con la microscopía de fluorescencia, son técnicas de imagen ampliamente utilizadas

para visualizar la interacción entre las nanopartículas y los microorganismos en biomateriales odontológicos(2).

Con la SEM, se pueden observar las características morfológicas de las bacterias y las nanopartículas a una alta resolución, lo que permite estudiar su adherencia a la superficie celular y los cambios estructurales inducidos por estas en las bacterias. Por otro lado, la microscopía de fluorescencia utiliza sondas fluorescentes para etiquetar las nanopartículas y los microorganismos, lo que facilita la visualización directa de su interacción en muestras biológicas (2,23) .

Dióxido de silicio, dióxido de titanio o nanopartículas de plata a resinas acrílicas:

Debido a sus propiedades antibacterianas y su baja citotoxicidad, se están añadiendo nanopartículas a la resina acrílica. Algunos ejemplos son el dióxido de titanio, el dióxido de silicio y las nanopartículas de plata, que se han utilizado en varios estudios. Sin embargo, una limitación importante de estas investigaciones, fue que no se las ha evaluado “in vivo”, para conocer su real potencial tóxico en los tejidos dentales(24).

Aplicaciones clínicas y perspectivas futuras

La utilización de biomateriales con nanopartículas en procedimientos odontológicos abarca una amplia gama de aplicaciones clínicas. Estos biomateriales se pueden emplear en la restauración de tejidos dentales, como rellenos de resinas compuestas y cementos de ionómero de vidrio que han sido modificados usando nanopartículas de plata o zinc, que ofrecen propiedades antimicrobianas y mejoran la resistencia mecánica de las restauraciones. Adicional a ello, los recubrimientos de nanopartículas se aplican en implantes

dentales para promover la osteointegración y prevenir la colonización bacteriana en la superficie de los implantes, reducir la posibilidad de infecciones en el lecho quirúrgico y mejorar la estabilidad a largo plazo de los implantes dentales(2).

Una consideración clave en la utilización de biomateriales con nanopartículas en odontología es la seguridad y toxicidad asociadas con estas. Aunque existen muchas nanopartículas, un grupo determinado ha demostrado tener propiedades antimicrobianas sin efectos adversos significativos, otras pueden presentar riesgos potenciales para la salud, como la inducción de estrés oxidativo, la inflamación y la citotoxicidad(2).

Por lo tanto, es fundamental evaluar cuidadosamente la seguridad antes de su aplicación clínica, mediante estudios *in vitro* e *in vivo* que investiguen su biocompatibilidad, biodistribución y toxicidad a largo plazo. Además, es fundamental tener en cuenta la posibilidad de que los iones metálicos liberados por las nanopartículas entren en el entorno bucodental y repercutan negativamente en la salud bucodental y sistémica de los pacientes a largo plazo(2).

DISCUSIÓN

La constante búsqueda de mejoramiento de los materiales dentales, ha explorado la incorporación de nanopartículas con propiedades antimicrobianas y compatibles con los tejidos de la cavidad oral. Entre estas, las nanopartículas de plata (AgNP) han emergido como una de las alternativas más prometedoras, debido a su conocida actividad antibacteriana de amplio espectro. Las AgNP son capaces de inhibir el crecimiento de bacterias como *Streptococcus mutans*, principal responsable de la caries dental, lo que sugiere que su inclusión en

resinas compuestas, cementos de ionómero y adhesivos ortodónticos, podría ayudar a reducir la incidencia de caries durante los tratamientos dentales.

En el ámbito de la ortodoncia, uno de los desafíos más comunes es la prevención de caries y otras infecciones orales durante el tratamiento, especialmente en presencia de aparatos ortodónticos fijos que dificultan la higiene bucal adecuada

Por ende, se ha estudiado la efectividad de adhesivos ortodónticos modificados con diferentes concentraciones de AgNP. Degraiza et al (2016) señala que su diseño experimental se centra en analizar el impacto de diferentes concentraciones de AgNP (0,1%, 0,2% y 0,5% en peso) en las propiedades del adhesivo ortodóntico. El estudio se basa en la hipótesis de que la adición de nanopartículas mejorará la actividad antimicrobiana, sin comprometer significativamente las propiedades mecánicas del adhesivo. Para probar esta hipótesis, los autores realizaron una serie de pruebas estándar, incluyendo la resistencia al corte (SBS) y el grado de conversión (DC), además de ensayos de actividad antimicrobiana contra *Streptococcus mutans* utilizando el método de difusión en agar. Este enfoque experimental permitió una evaluación integral del rendimiento del adhesivo modificado, abarcando tanto su funcionalidad mecánica como su capacidad antimicrobiana (25).

Guevara Ruiz et al (2020) adoptó un enfoque experimental similar, pero con concentraciones de AgNP del 0,5% y 1% en peso, lo que permite explorar el efecto de niveles más altos de nanopartículas en el adhesivo (21). Al igual que en el primer estudio, se realizaron pruebas de SBS y DC para evaluar la afectación de las AgNP a la estructura y funcionalidad del adhesivo. Sin embargo, este estudio se distingue por su énfasis en la cuantificación de la actividad antimicrobiana mediante el uso de un método de cultivo en medio

líquido, que ofrece una evaluación más precisa de la efectividad bactericida del adhesivo. Este enfoque cuantitativo proporciona una visión más detallada de cómo las diferentes concentraciones de AgNP influyen en la reducción de la carga bacteriana.

Una de las principales diferencias entre estos estudios, radica en los niveles de concentración de AgNP empleados. El primer estudio se centró en concentraciones relativamente bajas (hasta 0,5%), mientras que el segundo exploró los efectos de concentraciones más altas (hasta 1%). Esta variación es significativa, ya que los resultados mostraron que concentraciones más altas de AgNP tienden a disminuir más notablemente las propiedades mecánicas del adhesivo, aunque aumentan su capacidad antimicrobiana. Esto sugiere que hay un umbral en el que la concentración de AgNP comienza a comprometer la funcionalidad estructural del adhesivo, lo que es crucial considerar en sus aplicaciones clínicas.

Además, el método de difusión en agar, utilizado en el primer estudio, es adecuado para observar visualmente la inhibición bacteriana, mientras que el método de cultivo en medio líquido, del segundo estudio, permite una cuantificación más precisa de la actividad antimicrobiana.

CONCLUSIONES

Se encontró que la capacidad de las nanopartículas para modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los biomateriales, ofrece oportunidades para desarrollar restauraciones más resistentes, biocompatibles y estéticamente atractivas. Además, la versatilidad de las nanopartículas permite

su aplicación en diversos procedimientos clínicos, desde la restauración de tejidos dentales hasta la prevención de infecciones en implantes dentales.

El efecto antimicrobiano de las nanopartículas en biomateriales odontológicos ofrece una opción prometedora para prevenir y tratar infecciones asociadas con procedimientos dentales. Las nanopartículas, como las de plata, zinc y óxido de zinc, han demostrado una notable actividad antimicrobiana contra una amplia variedad de microorganismos bucodentales, lo que puede ayudar a reducir el riesgo de infecciones postoperatorias y mejorar los resultados de los tratamientos dentales.

Por ende, es evidente la necesidad de nuevas investigaciones que profundicen en los mecanismos de acción de las nanopartículas en el entorno oral y que evalúen su seguridad y eficacia en estudios clínicos a largo plazo. Además, se requieren estudios adicionales para estandarizar los métodos de evaluación del efecto antimicrobiano de las nanopartículas y para desarrollar estrategias que minimicen el riesgo de desarrollo de resistencia bacteriana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Armijos Briones M, Vaca Altamirano G, Moreano Moreano R, Torres Nieto N. Smart biomaterials used in dentistry. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*. 2022 Jan 1;41(1). DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.5888336>
2. Bapat RA, Joshi CP, Bapat P, Chaubal T V., Pandurangappa R, Jnanendrappa N, et al. The use of nanoparticles as biomaterials in dentistry. Vol. 24, *Drug Discovery Today*. Elsevier Ltd; 2019. p. 85–98. DOI: 10.1016/j.drudis.2018.08.012
3. Alvarracin-Baculima M, Cuenca-León K, Pacheco-Quito EM. Antimicrobial Nanoparticles in Dentistry: State of the art. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*. 2021;40(8):839–47. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5791388>
4. Song W, Ge S. Application of antimicrobial nanoparticles in dentistry. Vol. 24, *Molecules*. MDPI AG; 2019. DOI: 10.3390/molecules24061033
5. Molina G, Palma S. Nanotecnología en Odontología: Aspectos generales y posibles aplicaciones. *Methodo Investigación Aplicada a las Ciencias Biológicas*. 2018 Sep 24;3(3):59–66. DOI: 10.22529/me.2018.3(3)03
6. Capuano N, Amato A, Dell'Annunziata F, Giordano F, Folliero V, Di Spirito F, et al. Nanoparticles and Their Antibacterial Application in Endodontics. Vol. 12, *Antibiotics*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2023. DOI: 10.3390/antibiotics12121690
7. Vargas-Ruíz DE, Serrano-Díaz PN, Hernández-Gómez G, Acosta-Torres LS. Tendencias en regeneración periodontal con el uso de nanopartículas: revisión sistemática de la literatura. *Mundo Nano Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*. 2022 Sep 21;16(30):1e–12e.
8. Sreenivasalu PKP, Dora CP, Swami R, Jasthi VC, Shiroorkar PN, Nagaraja S, et al. Nanomaterials in Dentistry: Current Applications and Future Scope. Vol. 12, *Nanomaterials*. MDPI; 2022. DOI: 10.3390/nano12101676
9. Zhu T, Huang Z, Shu X, Zhang C, Dong Z, Peng Q. Functional nanomaterials and their potentials in antibacterial treatment of dental caries. *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2022 Oct 1;218:112761. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2022.112761
10. A I O Ibrahim , D S Moodley, L Petrik, N Patel. Use of antibacterial nanoparticles in Endodontics. *SADJ [Internet]*. 2017 [cited 2024 Sep 10];Vol 72 No. 3. Available from: http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0011-85162017000300002&lng=en.
11. Zhang XF, Liu ZG, Shen W, Gurunathan S. Silver nanoparticles: Synthesis, characterization, properties, applications, and therapeutic approaches. Vol. 17, *International Journal of Molecular Sciences*. MDPI AG; 2016. DOI: 10.3390/ijms17091534
12. Jandt KD, Watts DC. Nanotechnology in dentistry: Present and future perspectives on dental nanomaterials. Vol. 36, *Dental Materials*. Elsevier Inc.; 2020. p. 1365–78. DOI: 10.1016/j.dental.2020.08.006
13. Shaddox LM. Nanoparticles in Dentistry: Evidence and Future. *Am J Biomed Sci Res*. 2020 Apr 16;8(4):321–323. DOI: 10.34297/AJBSR.2020.08.001294

14. Schmalz G, Hickel R, van Landuyt KL, Reichl FX. Scientific update on nanoparticles in dentistry. Vol. 68, *International Dental Journal*. Wiley-Blackwell Publishing Ltd; 2018. p. 299–305. DOI: 10.1111/idj.12394
15. Jiang H, Li L, Li Z, Chu X. Metal-based nanoparticles in antibacterial application in biomedical field: Current development and potential mechanisms. Vol. 26, *Biomedical Microdevices*. Springer; 2024. DOI: 10.1007/s10544-023-00686-8
16. Missier MS. Application of nanoparticles in Dentistry. *Bioinformation*. 2023 Jan 31;19(1):14–8. DOI: 10.6026/97320630019014
17. Patricia Betancur Henao C, Hernández Montes V, Buitrago Sierra R. Nanopartículas para materiales antibacterianos y aplicaciones del dióxido de titanio Nanoparticles for antibacterial materials and titanium dioxide applications [Internet]. Vol. 35, *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. 2016. Available from: <http://scielo.sld.cu>
18. Yin IX, Zhang J, Zhao IS, Mei ML, Li Q, Chu CH. The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. Vol. 15, *International Journal of Nanomedicine*. Dove Medical Press Ltd.; 2020. p. 2555–62. DOI: 10.2147/IJN.S246764
19. Vimbela G V., Ngo SM, Frazee C, Yang L, Stout DA. Antibacterial properties and toxicity from metallic nanomaterials. Vol. 12, *International Journal of Nanomedicine*. Dove Medical Press Ltd.; 2017. p. 3941–65. DOI: 10.2147/IJN.S134526
20. Barrantes Murillo C, Ortega Oviedo G. Nanopartículas y antibióticos: respuesta a la resistencia global bacteriana Nanoparticles and antibiotics: response to the bacterial global resistance. DOI: 10.34192/cienciaysalud.v4i5.210
21. Guevara Ruiz LM, Bonilla Valladares PM, Caicedo Breedy MF. Actividad antimicrobiana de adhesivo ortodóntico con nanopartículas de plata sobre *Streptococcus mutans*. *Odontología (Lima)* [Internet]. 2020 Jul 1;22(2):33–44. Available from: <http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/odontologia/article/view/2383/2363> DOI: <https://doi.org/10.29166/odontologia.vol22.n2.2020-33-44>
22. Gopal J, Chun S, Anthonydhasan V, Jung S, Mwang'ombe BN, Muthu M, et al. Assays Evaluating Antimicrobial Activity of Nanoparticles: A Myth Buster. *J Clust Sci*. 2018 Mar 1;29(2):207–13. DOI:<https://doi.org/10.1007/s10876-018-1334-1>
23. Bhisare ML, Wu BS, Wu MC, Khan MS, Tseng MH, Wu HF. MALDI MS analysis, disk diffusion and optical density measurements for the antimicrobial effect of zinc oxide nanorods integrated in graphene oxide nanostructures. *Biomater Sci*. 2016 Jan 1;4(1):183–94. DOI: 10.1039/c5bm00342c
24. Yudaev P, Chuev V, Klyukin B, Kuskov A, Mezhev Y, Chistyakov E. Polymeric Dental Nanomaterials: Antimicrobial Action. Vol. 14, *Polymers*. MDPI; 2022. DOI: 10.3390/polym14050864
25. Degrazia FW, Leitune VCB, Garcia IM, Arthur RA, Samuel SMW, Collares FM. Effect of silver nanoparticles on the physicochemical and antimicrobial properties of an orthodontic adhesive. *Journal of Applied Oral Science*. 2016 Jul 1;24(4):404–10. DOI: 10.1590/1678-775720160154

