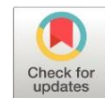


Nanopartículas de plata en la odontología. Revisión de la literatura

Silver nanoparticles in dentistry. literature review

- ¹ Bryan Alexander Gualpa Gualpa  <https://orcid.org/0009-0007-5121-6222>
Estudiante de la Carrera de Odontología, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
bryan.gualpa@est.ucacue.edu.ec
- ² Lorena Alexandra González Campoverde  <https://orcid.org/0000-0003-4651-1212>
Docente de la Carrera de Odontología, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
lgonzalezc@ucacue.edu.ec
- ³ Wilmer Gabriel Pineda Palacios  <https://orcid.org/0009-0003-6909-6805>
Estudiante de la Carrera de Odontología, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
Wilmer.pineda@est.ucacue.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 17/09/2023

Revisado: 12/10/2023

Aceptado: 08/11/2023

Publicado: 04/12/2023

DOI: <https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v6i4.2.2777>

Cítese:

Gualpa Gualpa, B. A., González Campoverde, L. A., & Pineda Palacios, W. G. (2023). Nanopartículas de plata en la odontología. Revisión de la literatura. *Anatomía Digital*, 6(4.2), 6-24. <https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v6i4.2.2777>



ANATOMÍA DIGITAL, es una Revista Electrónica, Trimestral, que se publicará en soporte electrónico tiene como misión contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://anatomiadigital.org>
La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 International. Copia de la licencia: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Palabras claves:

Endodoncia,
Implantología,
Odontología,
Ortodoncia,
Nanopartículas,
Plata.

Keywords:

Dentistry,
Endodontics,
Implantology,
Orthodontics,
Nanoparticles,
Silver.

Resumen

Introducción. Las nanopartículas de plata juegan un papel importante en diferentes campos de las ciencias de la salud como la Odontología, estas nano partículas revolucionan la forma en que se realizan diferentes tipos de tratamientos. La aplicación de nano partículas puede mejorar las propiedades físicas y químicas de los materiales dentales, aumentar su eficacia y mejorar el efecto después de la aplicación. Las nano partículas se consideran una tecnología innovadora y prometedora en el campo de la Odontología, ya que pueden optimizar los métodos de diagnóstico y tratamiento tempranos en un tiempo significativamente más corto. **Objetivo.** Realizar una revisión bibliográfica de las nanopartículas de plata, principalmente sus efectos biológicos y aplicaciones antimicrobianas a nivel odontológico. **Metodología.** La recolección de información se basó en evidencia científica sobre nanopartículas en el campo de la Odontología, donde las bases de datos utilizadas para la búsqueda de información fueron Scielo, Proquest, Scopus y Dialnet. Se utilizaron operadores booleanos para buscar información: "AND" y "OR". Las palabras clave utilizadas para buscar los artículos correspondieron a "nanopartículas" y "odontología". **Resultados.** Después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se estableció el análisis de 900 artículos, de los cuales se pudo identificar 33 como aptos para revisión bibliográfica. **Conclusión.** Las nanopartículas utilizadas en el campo de la odontología tienen principalmente propiedades antimicrobianas que, al combinarse con otras sustancias y componentes utilizados en la práctica de diferentes campos profesionales de la Odontología, pueden controlar y prevenir la propagación de bacterias. **Área de estudio general:** Odontología. **Área de estudio específica:** Ortodoncia. **Tipo de estudio:** Revisión Bibliográfica.

Abstract

Introduction. Silver nanoparticles play a significant role in different fields of health sciences such as Dentistry, these nanoparticles revolutionize the way several types of treatments are performed. The application of nanoparticles can improve the dental materials' physical and chemical properties, increase their efficacy, and enhance the effect after application. Nanoparticles

are considered an innovative and promising technology in dentistry, as they can optimize early diagnosis and treatment methods in a significantly shorter time. **Objective.** To present a comprehensive and updated review of silver nanoparticles, their biological activities, and antimicrobial applications in dentistry. **Methodology.** The collection of information was based on scientific evidence on nanoparticles in the field of dentistry, where the databases used for the search of information were SciELO, ProQuest, Scopus, and Dialnet. Boolean operators were used to search for information: "AND" "OR" and "NOT." The keywords used to search for articles were "nanoparticles" and "dentistry." **Results.** After applying the inclusion and exclusion criteria, 900 articles were analyzed, of which 33 were identified as suitable for literature review. **Conclusion.** Nanoparticles used in dentistry have antimicrobial properties that, when combined with other substances and components used in the practice of different professional fields of dentistry, can control and prevent the spread of bacteria.

Introducción

De acuerdo con Albarracín et al (2021) (1) las nanopartículas (NP) cuentan con una extensa trayectoria en el ámbito de la ciencia contemporánea y han sido aplicadas en diversas disciplinas. En 1959, el profesor Richard Feynman, quien luego ganó el Premio Nobel de Física, hizo la primera referencia pública a la posibilidad de la nanociencia y la nanotecnología en su célebre conferencia titulada "Hay espacio en el fondo", un estudio sobre los nanomateriales y su aplicabilidad. Además de la viabilidad y el potencial de uso, puesto que, están basados en la utilización de átomos individuales para crear nuevas estructuras pequeñas con diferentes propiedades. Asimismo, ha desempeñado un papel crucial al incorporar de manera activa la nanotecnología en una esfera significativa de la industria sanitaria, reconocida como la nanomedicina.

Durante las últimas décadas, Freitas ha acuñado el término "nano-odontología", centrándose en realizar diversas investigaciones relacionadas con nanomateriales y nanorobots, con el objetivo de ayudar a la regeneración dental y desarrollar dentífricos nano robóticos. En un principio, todas estas ideas se percibían como inviables y se denominaron "ciencia ficción", sin embargo, muchos de estos estudios ahora son reconocidos científicamente e incluso aplicados en el campo de la Odontología (1).

A la par según Pérez et al (2022) (2) las nanopartículas exhiben notablemente propiedades antibacterianas y actividad biológica contra varios microorganismos, por ejemplo, las bacterias ubicadas en la cavidad bucal componen una biopelícula formada por aproximadamente 300 especies de bacterias, muchas de ellas pueden desencadenar diversos procesos de problemas bucales llamados infecciones odontogénicas. Este problema de salud suele tratarse con fármacos antibacterianos, pero muchos de estos medicamentos no reúnen las condiciones específicas para el tratamiento. Por lo que, la administración de estos fármacos presenta ciertas deficiencias, que en algunos casos no se deben solo a su compuesto, sino también a la vía de administración, la adherencia al tratamiento del paciente y el impacto de la resistencia bacteriana. Esto significa que las infecciones, de manera frecuente, no se tratan profesionalmente y por lo general empeoran clínicamente a las personas (3).

Por lo tanto, el desarrollo de agentes antimicrobianos efectivos utilizando nanotecnología resulta ser un enfoque innovador para reducir la presencia de microorganismo patógenos en la cavidad bucal. Razón por la cual, el progreso y la innovación en el campo de la nanotecnología han conducido a la fabricación y utilización de nanopartículas en diferentes campos pudiendo regular la forma y las dimensiones de los materiales a escalas nanométricas, pudiendo desarrollar nuevos componentes como las nanopartículas para aplicaciones científicas y de salud (4).

De la misma manera, la nanotecnología no solo se ocupa de varios campos como la física y la química, sino también de campos tan importantes como las ciencias de la salud. Por lo que, se pueden mencionar aplicaciones en la medicina, donde se procesan materiales o se diseñan dispositivos para interactuar con el cuerpo humano, generalmente en la escala subcelular. Es decir, en la escala molecular permite un alto grado de especificidad y compatibilidad. Por esta razón, en años recientes, se han llevado a cabo numerosas investigaciones que detallan la aplicación de nanopartículas en odontología, en particular para desarrollar estrategias de tratamiento o prevención de infecciones dentales, y además se ha demostrado la eficacia de determinados antibióticos como la Amoxicilina, Doxiciclina, Metronidazol y Clorhexidina que al combinarse con las nanopartículas han mostrado resultados sinérgicos, aumentando la capacidad de combatir infecciones bacterianas en la cavidad oral y mejorando los efectos antimicrobianos de los medicamentos (4). Por ello, el objetivo de este trabajo es realizar una revisión bibliográfica de las nanopartículas de plata, principalmente sus efectos biológicos y aplicaciones antimicrobianas a nivel odontológico.

Metodología

El presente artículo es un estudio de tipo transversal con un diseño documental, el cual consta de una revisión bibliográfica sobre las NP de plata en la odontología. Para ello, se recopiló información sobre la temática en bases de datos científicas como: *SciELO*,

ProQuest, PubMed, Science Direct, Dialnet, PubMed. Además, se utilizaron los operadores booleanos "AND" y "OR" y las palabras claves registradas en el MeSH (*Medical Subject Headings*) y DeCS (Descriptores en Ciencias de la Salud): "nanopartículas de plata", "odontología", "ortodoncia", "implante dental", "endodoncia", antimicrobianas, "implicación" y "beneficios". Cabe mencionar que, estos términos de búsqueda han sido implementados con diversas combinaciones de acuerdo con las necesidades en cada base de datos.

Los criterios de inclusión fueron: estudios de casos, artículos de revisión bibliográfica, informes de casos clínicos, artículos indexados en revistas científicas, artículos científicos publicados entre 2016 y 2023 en inglés y español.

A su vez, los criterios de exclusión fueron: artículos relacionados con NP no relevantes para el campo de la Odontología, artículos con información incompleta o redundante y ensayos clínicos con animales.

Tabla 1. Estrategia de búsqueda

Base digital	Palabras claves
Scielo	(nanoparticles) AND (properties) AND (application)
Proquest	(Nanopartículas) AND (odontología) OR (nanopartículas antimicrobianas) AND (odontología)
Pubmed	(odontology) OR (silver nanoparticles) AND (dental implant) AND (properties)
Science Direct	(Silver nanoparticles) AND (antimicrobial orthodontic adhesives) AND (silver nanoparticles)
Dialnet	nanopartículas AND odontología OR nanopartículas de plata OR resistencia bacteriana

Nota: En la tabla se observan las estrategias de búsqueda utilizadas en la revisión de la literatura

Resultados

Cribaje de la información: en este segmento se ha implementado una búsqueda y selección de 900 documentos, mediante la filtración en base a tiempo e idioma se mantuvo 512 artículos, a los cuales aplicando los criterios de inclusión y exclusión se consideraron 52 artículos como aptos posteriormente se realizó la lectura en base a título y resumen, eliminando también los artículos duplicados quedando un total de 33 artículos considerados aptos para esta revisión de la literatura.

A continuación, se muestra el proceso de revisión de la literatura llevado a cabo, a partir del análisis de los artículos presentes en las bases de datos seleccionadas y de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión establecidos.

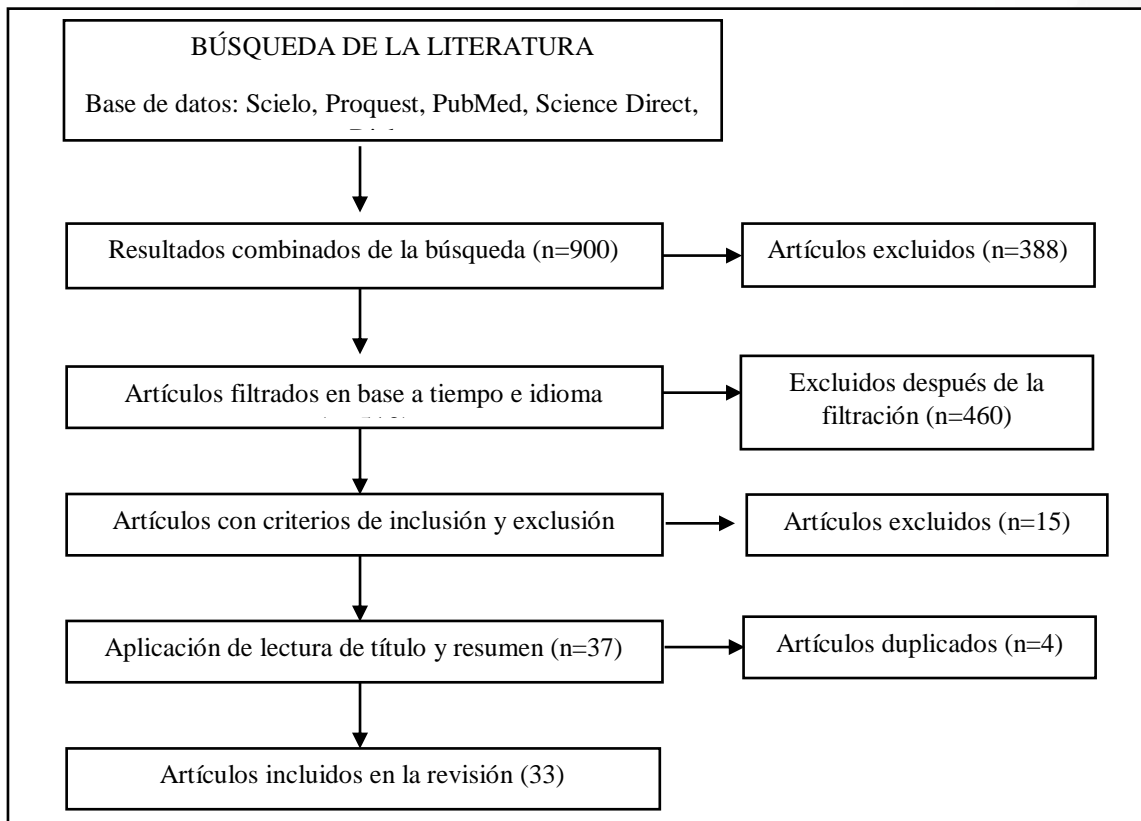


Figura 1. Flujograma de análisis de artículos identificados

Aspectos Éticos

Por tratarse de una revisión bibliográfica, no se precisó de permiso de bioética para este estudio.

Financiamiento

Fue autofinanciado.

Estado del Arte

Nanotecnología en Odontología

En la actualidad, la odontología ha realizado importantes avances que han mejorado la calidad de vida de las personas en todo el mundo. De la misma manera, la invención de nuevos medicamentos y el uso de tecnologías avanzadas han permitido optimizar el diagnóstico y mejorar el tratamiento odontológico, revolucionando la forma en que se atiende a los pacientes (5). Es por ello que, los países que poseen una mayor cantidad de recursos tanto económicos como tecnológicos han podido innovar dentro del campo de la nanotecnología con lo cual han creado nuevos centros de investigación que permiten potenciar el desarrollo de nuevas tecnologías, como el análisis genético molecular para la

detección de diversos padecimientos, la recuperación de los tejidos y las alternativas de tratamiento de tumores que fueron considerados incurables (6,7,8).

A su vez, la implementación de la nanotecnología para mejorar la salud de los pacientes se logra con la utilización de robots implantables, sensores y distintas herramientas que pueden utilizarse para tratar los tejidos afectados (9). Por ello, se ha desarrollado un nuevo parámetro matemático de movimiento que facilita el desarrollo de nano dispositivos capaces de moverse en líquidos. Los mismos que se utilizarán para transportar fármacos (10). Además, la nanotecnología se encarga de construir mini artefactos que realizan el proceso de recepción y sistematización de señales externas, generando la intercomunicación con otras NP controladas externamente que ayudan a monitorear las nanomáquinas internas. Lo que permitirá activar, desactivar y controlar todos estos nanomecanismos (11).

Otra función es llevar un registro sistematizado para realizar una planificación de los estímulos externos mediante nanomáquinas que son las encargadas de la implementación de sistemas de control y comunicación efectiva. Sin embargo, una de las limitaciones de la implementación clínica de la nanotecnología es la dificultad de introducir estos dispositivos en el cuerpo humano (12). Por lo que, lo esencial es medir el tamaño de las nanomáquinas a introducir, teniendo en cuenta el lugar en el que van a ser implantadas. Puesto que, lo más sencillo es dejar que el flujo de sangre lleve NP al sitio del problema, orientarlo más allá de la barrera creada por los coágulos de sangre y las placas ateroscleróticas, para lo cual se han elaborado distintos dispositivos de propulsión o tracción (13).

Razón por la cual, las NP son una alternativa importante en medicina y odontología. Debido a que, como es el caso del uso de las NP de plata se implementan como opción de restauración dental más seguras por sus propiedades de no deteriorarse, antifúngicas y antibacterianas (14). Con relación a la ortodoncia, la utilización de NP permite controlar la señalización del dolor y aumentar la ramificación de las terminales nerviosas (15).

En el caso específico de la implantología, el uso de un material de origen biológico conocido como nano hueso, que posee características similares a las del hueso se ha vuelto más frecuente. Es por ello por lo que, se están creando implantes inteligentes que pueden reconocer la clase de tejido que se está constituyendo en la zona de tratamiento para liberar rasgos de crecimiento cuando sea necesario y promover el desarrollo del tejido (16).

Síntesis de las nanopartículas de plata

La síntesis de NP de plata es de gran interés en la comunidad científica debido a su amplia gama de aplicaciones. Se conocen varias rutas sintéticas para obtener nanoestructuras de

plata que pueden clasificarse como métodos físicos y químicos, siendo los más utilizados, sin embargo, tienen costos elevados y son nocivos para el medio ambiente, ya que implican el uso de compuestos contaminantes. Es por ello por lo que, actualmente se están desarrollando procedimientos experimentales biológicos para la síntesis de NP (17).

Por su parte, la biosíntesis de AgNps reemplaza los agentes reductores y estabilizantes tóxicos con moléculas no tóxicas (proteínas, carbohidratos) producidas en organismos como bacterias, hongos y levaduras. La síntesis utiliza compuestos naturales de bajo costo como: limón, aloe vero, algas, té y mostaza. Además, los posibles mecanismos de biosíntesis (también conocidos como síntesis verde) incluyen vías enzimáticas (usando NAPH reductasa) y reducción no enzimática (13).

Propiedades de las Nanopartículas

La dimensión de las nanopartículas es crucial y generalmente debe situarse entre 10 a 100 nm de longitud. Las NP de 100 nm carecen de efecto terapéutico, debido a que las partículas extremadamente pequeñas se filtran fuera del cuerpo a través del sistema renal, mientras que las partículas de gran tamaño son captadas y eliminadas por el sistema fagocítico mononuclear. Es por ello por lo que, cuando las NP se recubren con ciertos polímeros (como el polietilenglicol) pueden inhibir la absorción de proteínas, prolongando su período de vida. Esto se debe a que las proteínas plasmáticas circulantes tienen una gran similitud superficial con las NP y muchas de estas proteínas actúan como opsonicos. A su vez, son fácilmente reconocidos y fagocitados por monocitos y macrófagos, porque se eliminan rápidamente del cuerpo (18).

Aplicaciones de las Nanopartículas de Plata en Odontología

Se ha estudiado su implementación a lo largo del tiempo para aumentar su eficacia en materiales de restauración dental, como los acrílicos de autocurado que se usan para hacer aparatos de Ortodoncia y los acrílicos termo-endurecibles que se usan para hacer dentaduras postizas; buscando beneficios en base a este tipo de alineadores y restauraciones dentales (19).

De acuerdo con un reporte de la revista Odontológica Mexicana en el año 2020 sobre la incorporación de NP de plata con una concentración de 500 ppm y un tamaño de 40 nm en un soporte acrílico mostró un mayor efecto antibacteriano contra *S. mutans* y demostró su considerable capacidad para combatir las bacterias de resistencia múltiple. Razón por la cual, los antibióticos son una preocupación, porque es menos probable que los microbios desarrollen resistencia a la plata (20).

Las bacterias en la matriz de los biomateriales de titanio o cerámica que componen los implantes dentales reducen los biofilms que se producen en los mismos. Al mismo tiempo sirven como coadyuvantes en el control de la peri-implantitis, porque ayudan a evitar la

intervención quirúrgica secundaria. De la misma manera, la nanotecnología, ha permitido el desarrollo de nano huesos que imita la estructura y composición del hueso (20). Debido a sus propiedades antibacterianas, antifúngicas y anti abrasivas, este tipo de partículas están teniendo una significativa influencia y notable aplicación en el ámbito odontológico como sustituto seguro de las restauraciones dentales. En cuanto al tamaño de las nanopartículas, este podría vincularse con la liberación de iones de plata y su capacidad de penetración hacia el interior de la célula posibilitando cambios metabólicos que producen la muerte de la célula bacteriana (21).

Adicionalmente, este proceso resguarda la cavidad bucal contra el crecimiento excesivo de bacterias, lo que favorece una mayor defensa frente a la caries dental. En este sentido, en un estudio in vitro realizado en un período de 5 años, se demostró que las NP de plata tienen notables propiedades antitumorales ligadas a la generación de estrés oxidativo que conduce a la genotoxicidad, aportando así conocimiento para el tratamiento del cáncer bucal y muerte por apoptosis del material genético (20,21).

Las nanopartículas de plata también han demostrado utilidad en varias disciplinas de la Odontología, como la detección de enfermedades mediante análisis de fluidos como la saliva o tejidos. A la par, las NP permiten el análisis a escala subcelular para identificar y cuantificar moléculas tóxicas. Por ejemplo, las NP de oro han sido empleadas en resonancias magnéticas con el propósito de generar contraste entre las células cancerosas y las normales, además esto posibilita su observación mediante la microscopía confocal de reflexión (20,21).

Aplicación de las AgNPs en Ortodoncia

En el campo de la ortodoncia, las NP de plata se han utilizado debido a sus propiedades antibacterianas en los retenedores tradicionales que propician la acumulación de placa, dado que ha demostrado una notable actividad antibacteriana al actuar como inhibidor de biopelículas que causan caries, principalmente orientado a contrarrestar las causas de la desmineralización de la capa de esmalte (20,21,22).

Asimismo, se ha reportado que las AgNPs inhiben el etilenglicol transferasa libre, la enzima encargada de facilitar la glucosa y la adhesión celular para producir glucanos y polisacáridos extracelulares, y también se ha evidenciado que las partículas de plata actúan como el mismo dominio durante los cursos de terapia adyuvante para el dolor. control, mediante el uso de NP que poseen rasgos de crecimiento que ayudan a la restauración del tejido nervioso para controlar las zonas dolorosas mediante el incremento de la ramificación de las terminaciones nerviosas (23).

Aplicaciones de AgNPs en Endodoncia

La caries secundaria o crónica puede conducir a pulpitis o periodontitis apical. La misma es una infección causada por bacterias como *E. faecalis*, un microorganismo que es una de las principales causas de reinfección después de la terapia de conducto. Los materiales de limpieza como el hipoclorito de sodio y los rellenos como la gutapercha se usan comúnmente para tratar estas lesiones endodónticas, pero el hipoclorito es uno de los tratamientos con NP más innovadores. Es por ello por lo que, el uso de NP de plata se menciona como una alternativa al clorato de sodio y se utiliza en aplicaciones de tratamiento de raíces (24).

Las NP de plata pueden unirse a las porciones cargadas negativamente de las membranas de las células bacterianas, interferir con funciones como la permeabilidad y la respiración, y causar fugas del contenido citoplásmico, lo que en última instancia conduce a la ruptura de las células bacterianas. Razón por la cual, las NP penetran en el contenido citoplásmico e interactúan con proteínas que contienen azufre y fósforo, como el ADN y el ARN, causando más daño a la célula bacteriana. Además, las NP de plata liberan iones de plata al entrar en contacto con medios acuosos, alterando aún más la función bacteriana (25). A su vez, el efecto de las NP de plata gelificadas a una concentración de 0,02% altera con éxito la integridad estructural de *E. faecalis*, reduciendo así el recuento viable (26).

También se han incorporado NP de plata en agregados de trióxido mineral (MTA) como material antibacteriano que mejora la tasa de éxito del recubrimiento pulpar, la formación apical y el sellado de perforaciones dentales. Así, el uso de NP en la terapia de endodoncia demostró que los limpiadores a base de NP de plata eran tan efectivos como el hipoclorito de sodio en la eliminación de *S. faecalis* y *S. aureus*. Por lo tanto, la irrigación del conducto radicular con soluciones de NP de plata se considera una alternativa eficaz durante la terapia endodóntica (27).

Aplicación de las AgNPs en implantes dentales

La infección periimplantaria representa una considerable amenaza para los implantes dentales. Dado que siempre existe el riesgo de infección perioperatoria, se han desarrollado varios recubrimientos antimicrobianos con el fin de prevenir la formación de biopelículas en la superficie de los implantes, pero ninguno de ellos ha logrado un efecto antimicrobiano efectivo. Dentro de este marco, se ha considerado la viabilidad de emplear NP de plata sobre la superficie de los implantes, permitiendo la liberación de plata de forma controlada y favoreciendo así el efecto antimicrobiano deseado. Los efectos antimicrobianos también se pueden prolongar utilizando NP de plata incrustadas en implantes (28).

Además, las NP impiden el desarrollo bacteriano mediante el contacto directo con las células bacterianas, muchas veces dando lugar a mecanismos biológicos que llevan a la lisis celular; las dimensiones de las NP afectan la capacidad antibacteriana. Dado que, a dimensiones más reducidas, exhiben condiciones antibacterianas más efectivas, sin embargo, en el contexto de los implantes, se observó un excelente efecto antibacteriano para las NP de plata más grandes incrustadas en titanio. A su vez, las NP de plata puede inhibir microorganismos como *S. aureus* y *P. aeruginosa* en bajas concentraciones, porque la NP de plata no tiene un efecto citotóxico evidente sobre los osteoblastos. De la misma manera, el titanio junto con las NP de plata puede potenciar la densidad mineral, promover la formación ósea y mejorar el patrón trabecular sin causar daño a los tejidos circundantes de los implantes dentales (28).

Toxicidad de las AgNPs

La toxicidad de las NP de plata está condicionada por las rutas de exposición, absorción, transporte, distribución y acumulación en el organismo, así como por el tipo de mecanismo de ingreso a nivel celular. Es por ello por lo que, cuando las nanopartículas de plata se administran por contacto con la piel, de forma oral, inhalación o circulación sanguínea, pueden ser tóxicas hasta cierto punto, según los iones de plata liberados. Sin embargo, se observaron más efectos tóxicos con NP de plata más pequeñas (29).

A su vez, la toxicidad de las NP de plata afecta principalmente a las mitocondrias, ya que induce la liberación mitocondrial de citocromo c en el citosol, lo que simultáneamente resulta en una pérdida del potencial de membrana mitocondrial activando así la vía intrínseca de la muerte celular programada (30). Debido a que, la capacidad genotóxica de las NP de plata también ha sido demostrada mediante experimentos in vivo e in vitro que evidenciaron la fragmentación del ADN tras la exposición a NP de plata.

En el caso de un estudio realizado en ratones se ha demostrado que independientemente de la vía de administración, la NP de plata ingresa a la circulación sanguínea y se acumula en los macrófagos, además se distribuye a varios órganos, principalmente al hígado, riñón, corazón, bazo y piel, pero, la gravedad de los efectos variará según la vía de administración (31). Sin embargo, no se detectaron alteraciones en los valores bioquímicos sanguíneos ni se observaron cambios histopatológicos, pero las NP de plata mostraron acumulación en varios órganos, lo que coincidió con que el riñón es su principal órgano diana. Es conocido que la plata iónica es responsable de la actividad antimicrobiana, y se han identificado cuatro posibles mecanismos de acción (32,33) los cuales se enumeran a continuación.

a) *Primer mecanismo*: cuando la plata se une al aminoácido cisteína, los iones de plata interactúan para inhibir las enzimas de las células bacterianas, en particular el citocromo b y d, los sitios de entrada del sustrato de la cadena respiratoria y las flavoproteínas La

interacción entre NADH y el dominio del succinato deshidrogenasa resulta en la muerte bacteriana.

b) Segundo mecanismo: la plata iónica ocasiona la destrucción de la pared celular, obstaculiza el desplazamiento de las bacterias y bloquea el paso de nutrientes, lo que conduce a la lisis celular.

c) Tercer mecanismo: la presencia de la plata iónica tiene consecuencias sobre la integridad del ADN de las bacterias, induciendo mutaciones que llevan a la lisis celular.

d) Cuarto Mecanismo: la plata se une a los radicales libres generados por el metabolismo aeróbico de las células. Cuando los radicales libres se acumulan dentro de las bacterias, destruyen la membrana celular y provocan la muerte de las bacterias.

Discusión

Las NP utilizadas en el campo de la odontología tienen principalmente propiedades antimicrobianas que, combinadas con otras sustancias y componentes utilizados en la práctica de diferentes campos profesionales de esta área del conocimiento, pueden controlar y prevenir la propagación de bacterias. En palabras de Alvarracín et al. (1) actualmente se están incorporando NP en diferentes áreas de la odontología con fines diagnósticos, terapéuticos o de regeneración tisular a nivel implantológico. De igual manera, para Bazán et al. (20) el uso de NP permite un diagnóstico y tratamiento temprano en el campo de la implantología y la regeneración del tejido en un tiempo más corto.

Por su parte, Millán (9) demostró que el recubrimiento de NP reduce la adhesión de microorganismos. De la misma manera, según la revista Odontológica Mexicana (20) la incorporación de NP de plata a una concentración de 500 ppm y un tamaño de 40 nm en un soporte acrílico mostró un mayor efecto antibacteriano contra *S. mutans* y demostró su alto potencial para combatir bacterias de resistencia múltiple. Otro beneficio observado está relacionado con el uso de monómeros de resina y adhesivos dentales para aumentar la fuerza de unión, la contracción de polimerización y el módulo elástico de la capa adhesiva sin perturbar la región pulpar, contribuyendo a una mejor prevención de la caries dental. Asimismo, las NP de plata facilitan el reconocimiento de enfermedades a través de fluidos como la saliva o los tejidos, además de llevar a cabo análisis a nivel subcelular para detectar y medir la cantidad de moléculas tóxicas (20,21).

Sin embargo, a pesar de los múltiples beneficios que se logra con el uso de NP, existen estudios que manifiestan su preocupación, debido a la toxicidad que pueden generar. Con relación a ello, se estableció que las NP de plata exhiben notables propiedades antitumorales relacionadas con la generación de estrés oxidativo que conduce a la genotoxicidad, aportando así conocimiento para el tratamiento del cáncer bucal y muerte por apoptosis del material genético (20,21). De la misma manera, se ha determinado que,

la toxicidad de las NP de plata depende de sus vías de exposición, absorción, transporte, distribución y acumulación en el organismo, así como del tipo de mecanismo de ingreso a nivel celular (29). El mecanismo de acción del proceso tóxico actúa afectando principalmente a las mitocondrias, ya que induce la liberación mitocondrial de citocromo c en el citosol, lo que simultáneamente resulta en una pérdida del potencial de membrana mitocondrial, activando así la vía intrínseca de la muerte celular programada (30).

Sin embargo, aún no se ha explotado las NP en su totalidad, puesto que en la actualidad aún se siguen realizando estudios para establecer su utilidad en los diversos campos odontológicos y sus respectivas ramas de aplicación. Puesto que, son fácilmente reconocidos y fagocitados por monocitos y macrófagos, porque se eliminan rápidamente del cuerpo (18). Si bien la plata se ha utilizado durante muchos años por sus efectos antimicrobianos, antifúngica y efecto antiviral (19) en el campo de la ortodoncia, ha mostrado una excelente actividad antibacteriana como inhibidor de biopelículas cariogénicas, principalmente contra las causas de la desmineralización de la capa de esmalte (20,21,22). De igual manera, favorecen la regeneración del tejido nervioso para controlar las zonas dolorosas y aumentar la ramificación de las terminaciones nerviosas (23). En cuanto a la endodoncia, mejora la tasa de éxito del recubrimiento pulpar, la formación apical y el sellado de perforaciones dentales. En cuanto a los implantes dentales, el titanio junto con las NP de plata puede potenciar la densidad mineral, promover la formación ósea y mejorar el patrón trabecular sin causar daño a los tejidos circundantes de los implantes dentales (28).

Conclusiones

- Las nanopartículas utilizadas en el campo de la odontología tienen principalmente propiedades antimicrobianas que, combinadas con otras sustancias y componentes utilizados en la práctica de diferentes campos profesionales de la Odontología, pueden controlar y prevenir la propagación de bacterias. Los principales efectos derivados de la aplicación de nanopartículas en el cuidado dental se centran en maximizar la salud bucal de los pacientes y reducir el desarrollo de procesos de infección oral. Por tanto, se puede concluir que las nanopartículas de plata pueden ser aplicadas en los subcampos de la odontología con resultados positivos. Además, sus propiedades antimicrobianas permiten una mejor implementación de la endodoncia y de la implantología. Finalmente, la utilización de las nanopartículas de plata evita la adhesión de microorganismos que ayudan a combatir las bacterias de resistencia múltiple.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses dado que el presente estudio se basa en una revisión de la literatura, no es necesario llevar a cabo la elaboración de un consentimiento informado.

Declaración de contribución de los autores

Autor 1: Participo activamente en la planificación y diseño de la revisión bibliográfica. Además, llevó a cabo una evaluación crítica de los estudios seleccionados analizando tanto la calidad metodológica como la validez de los resultados.

Autor 2: Contribuyó significativamente en la interpretación y discusión de los hallazgos obtenidos durante la revisión bibliográfica. Asimismo, desempeñó un papel importante en la redacción y revisión del contenido del manuscrito.

Autor 3: Realizó valiosos aportes al proporcionar comentarios que mejoraron la claridad y coherencia del trabajo. Participó activamente en la elaboración de los resultados y conclusiones del estudio.

Referencias Bibliográficas

1. Alvarracin M, Cuenca K, Pacheco E. Nanopartículas Antimicrobianas en Odontología: Estado del arte. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica. 2021; 40(8): 839-847. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/559/55971715015/html/>
2. Pérez M, Valenzuela M, García D, Constandse D, Nava S, Cuevas J, et al. Nanopartículas de plata contra bacterias presentes en biofilm dental de pacientes pediátricos. Revista de la Asociación Dental Mexicana. 2022; 79(4): 198-203. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=106912>
3. Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades CDC. ¿Qué son los antibióticos? CDC; 2019. Disponible en: <https://www.cdc.gov/antibiotic-use/sp/antibiotic-resistance.html>
4. Torrenegra, Ortega, Herrera. Recent advances in the use of nanomaterials with antimicrobial capacity. Archivos Venezolanos Farmacología y Terapéutica. 2020; 39(8): 986-92. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/559/55969796010/movil/>
5. Kati F. Effect of the incorporation of zinc oxide nanoparticles on the flexural strength of auto- polymerized acrylic resins. Oral and craniofacial sciences. 2019;

- 8(1): 37-41. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7018499>
6. Carilllo J, Gutiérrez J. Nanotecnología en Ortodoncia. Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odontopediatría. 2022;(18). Disponible en:
<https://www.ortodoncia.ws/publicaciones/2022/art-18/>
7. Gil M, Valero D. Nuevas tecnologías para el Diagnóstico Genético. 2017; 28(4): Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864017300858>
8. Ibrahim A, Moodley D, Petrik L, Patel N. Use of antibacterial nanoparticles in Endodontics. South African Dent J. 2017; 72(3): 105-12. Disponible en:
http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0011-85162017000300002
9. Millán N. Efecto del recubrimiento de nanopartículas de Plata, Cobre y Óxido de Zinc en PMMA de uso odontológico estudio in vitro. 2021; 1-99. Available from:
<http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/111744>.
10. Lango D, Mireles J, Flores N, Moreno M, Mendoza Á, Chávez P. Nanopartículas incorporadas al PMMA y sus propiedades antimicrobianas: una revisión sistemática. Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología. 2022; 15(29)
11. Torrenegran M, Ortega R, Herrera A. Recent advances in the use of nanomaterials with antimicrobial capacity. R Archr Venez Farmacol y Ter. 2020; 39(8). Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/559/55969796010/movil/>
12. Song W, Ge S. Application of Antimicrobial Nanoparticles in Dentistry. Molecules. 2019; 24(6): 1033. Disponible en:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30875929/>
13. Fernandez C, Sokolonski A, Fonseca M, Stanisic D, Araújo D. Applications of Silver Nanoparticles in Dentistry: Advances and Technological Innovation. Int J Mol Sci. 2021; 22(5): 2485. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7957900/>
14. Molina G, Palma S. Nanotecnología en Odontología: Aspectos generales y posibles aplicaciones. Methodo Investig Apl a las Ciencias Biológicas. 2018; 3(3):

- 59-66. Disponible en:
<https://methodo.ucc.edu.ar/index.php/methodo/article/view/79>
15. Carrera E, Dias H, Corbi S, Marcantonio R, Bernardi A. The application of antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) in dentistry: a critical review. 2017; 26(12): 23001. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29151775/>
16. Campos N, Ríos O, Olgún L. Nanopartículas de plata y su aplicación en estomatología. Rev Univ potosinos. 2019; 2(31): 2-15. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/334162002_Nanoparticulas_de_plata_y_su_aplicacion_en_estomatologia
17. Esquivel R, Mas S. Síntesis biológica de nanopartículas de plata: revisión del uso potencial de la especie Trichoderma. Revista Cubana de Química. 2021; 33(2): 23-45. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212021000200023
18. Lampé I, Beke D, Biri S, Csarnovics I, Csík A, Dombrádi Z. Investigation of silver nanoparticles on titanium surface created by ion implantation technology. Int J Nanomedicine. ACS Appl Mater Interfaces. 2019; 14(21). Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6616303/>
19. Ibrahim A, Moodley D, Petrik L, Patel N. Use of antibacterial nanoparticles in Endodontics. South African Dent J. 2018; 72(3): 105-12. Disponible en: http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0011-85162017000300002
20. Bazán A, Monjarás A, Balderas C, Molina E. Uso y aplicación de Nanopartículas de plata en Odontología. Educación Y Salud Boletín Científico Instituto De Ciencias De La Salud Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo. 2020; 8(16). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/341951450_Uso_y_aplicacion_de_Nanoparticulas_de_plata_en_Odontologia
21. Guevara L, Bonilla P, Caicedo M. Actividad antimicrobiana de adhesivo ortodóntico con nanopartículas de plata sobre Streptococcus mutans. Rev Odontol. 2020; 22(2): 33-44. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/odontologia/article/view/2383>

22. Abbasi E, Milan M, Fekri S, Kouhi M, Akbarzadeh A, Tayefi N. Silver nanoparticles: Synthesis methods, bio-applications, and properties. *Crit Rev Microbiol.* 2017; 42(2): 173–80. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24937409/>
23. Yin I, Zhang J, Zhao I, Mei M, Li Q, Chu C. The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. *Int J Nanomedicine.* 2020; 15: 2555–62. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32368040/>
24. Mallineni S, Sakhamuri S, Kotha S, AlAsmari A, AlJefri G, Almotawah F. Silver nanoparticles in dental applications: A descriptive review. *Bioengineering.* 2023; 10(3): 327. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36978718/>
25. Butrón C, Hernández J, DeAlba I, Urbano MdLA, Ruiz F. Therapeutic Use of Silver Nanoparticles in the Prevention and Arrest of Dental Caries. *Bioinorg Chem Appl.* 2020;(12). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32855631/>
26. Suhani M, Băciut G, Băciuț M, Șuhani R, Bran S. Current perspectives regarding the application and incorporation of silver nanoparticles into dental biomaterials. *Clujul Med.* 2018; 91(3): 274–279. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30093804/>
27. Fernandez C, Sokolonski A, Fonseca M, Stanisic D, Araújo D, Azevedo V. Applications of silver nanoparticles in dentistry: Advances and technological innovation. *Int J Mol Sci.* 2021; 22(5): 2485. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33801230/>
28. Yin I, Zhang J, Zhao I, Mei M, Li Q, Chu C. The Antibacterial Mechanism of Silver Nanoparticles and Its Application in Dentistry. *Int J Nanomedicine.* 2020; 17(15): 2555-2562. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32368040/>
29. Almatroudi A. Silver nanoparticles: synthesis, characterization, and biomedical applications. *Open Life Sci.* 2020; 19(15): 819-839. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33817269/>
30. Contractor I, Girish M, Indira M. Silver Diamine Fluoride: Extending the spectrum of Preventive Dentistry, a literature review. *Pediatric Dental Journal.* 2021; 31(1): 17-24. Disponible en: <https://www.mmclibrary.com/wp->

[content/uploads/2021/12/Silver-Diamine-Fluoride-Extending-The-Spectrum-of-Preventive-Dentistry-A-Literature-Review.pdf](#)

31. Youssef M, El-Mansy M, El-Borady O, Hegazy E. Impact of biosynthesized silver nanoparticles cytotoxicity on dental pulp of albino rats (histological and immunohistochemical study). Journal of Oral Biology and Craniofacial Research. 2021; 11(3): 386-392. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8100077/>
32. García R, Flores J, Villanueva G, Acosta L. Antimicrobial Poly (methyl methacrylate) with Silver Nanoparticles for Dentistry: A Systematic Review. Appl Sci (Basel). 2020; 10(11): 4007. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/11/4007>
33. Takamiya A, Monteiro D, Gorup L, Silva E, Camargo E, Gomes J. Biocompatible silver nanoparticles incorporated in acrylic resin for dental application inhibit Candida albicans biofilm. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 2021;(118): 111341. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33254968/>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Anatomía Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Anatomía Digital**.



Indexaciones

