

Usos de las nanopartículas de plata (AgNPs) en odontología

Uses of silver nanoparticles (AgNPs) in dentistry

Verónica Gasga Tapia,* Aída Hamdan-Partida,** Teresa Leonor Sánchez Pérez,** Francisco Javier Martínez Ruiz,** Jaime Bustos-Martínez**[†]

ABSTRACT: AgNPs are being widely used due to their excellent antimicrobial properties that allow them to be incorporated in various areas of dentistry ranging from dental materials, orthodontics, endodontics, periodontics and prosthodontics among others. The objective of this work was to review the use of AgNPs in different areas of dentistry and the associated technological innovations. Systematic searches were performed in the EBSCOhost and PubMed databases, with the keywords: “AgNPs” or “silver nanoparticles”, “dentistry” or “dentist” or “dental”, and “materials” in a period from 2012 to 2023 in the English language. A total of 261 articles were found, repeated articles, review articles, and articles that did not belong to the dental area were eliminated. A total of 116 articles that met the criteria were included in the review, it can be observed that most of the research is *in vitro* studies and a small part is clinical research or conducted on animals, most of the research show positive and innovative results for the use of AgNPs. The studies show an optimal antibacterial activity of AgNPs when they are combined with dental materials such as rinses, irrigant solutions, cements, resins, adhesives, metal coatings, antiseptic solutions, surgical dressings, among others. The literature reviewed shows a promising future for AgNPs since they not only have antibacterial activity against the main aerobic and anaerobic Gram positive and Gram-negative oral bacteria but also antifungal effect and anti-inflammatory properties, without compromising the properties of most of the materials in which they are incorporated. However, their use remains controversial because these nanomaterials belong to a new class of material; progress in this new discipline (nanotoxicology) depends on finding methodologies that allow the evaluation of toxicity in chemical states, *in vitro* and clinical studies.

KEYWORDS: silver nanoparticles, AgNPs, odontology.

RESUMEN: Las AgNPs se están utilizando ampliamente debido a sus excelentes propiedades antimicrobianas que les permiten ser incorporadas en diversas áreas de la odontología, como materiales dentales, ortodoncia, endodoncia, periodoncia y prostodoncia, entre otras. El objetivo de este trabajo fue revisar el uso de las AgNPs en las diferentes áreas de la odontología y las innovaciones tecnológicas asociadas. Se realizaron búsquedas sistemáticas en las bases de datos EBSCOhost y PubMed, con las palabras clave: “AgNPs” o “silver nanoparticles”, “dentistry” o “dentist” o “dental”, “materials” en un periodo que va del 2012 al 2023, en idioma inglés. Se encontraron un total de 261 artículos, se eliminaron los artículos repetidos, artículos de revisión, o artículos que no pertenecían al área dental. Se incluyeron en la revisión 116 artículos que cumplían los criterios establecidos; se puede observar que la mayoría de las investigaciones son estudios *in vitro* y una pequeña parte son investigaciones clínicas o realizadas en animales, la mayoría de las investiga-

Recibido: 7 de septiembre, 2023.

Aceptado: 6 de diciembre, 2023.

Publicado: 13 de febrero, 2024.

* Universidad Autónoma Metropolitana, Doctorado en ciencias biológicas y de la salud. CDMX, México.

** Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco, Departamento de Atención a la Salud. CDMX, México.

[†] Autor de correspondencia: jbustos@correo.xoc.uam.mx



ciones muestran resultados positivos e innovadores para el uso de las AgNPs. Los estudios muestran una óptima actividad antibacteriana de las AgNPs cuando estas se combinan con materiales dentales como enjuagues, soluciones irrigantes, cementos, resinas, adhesivos, recubrimientos de metales, soluciones antisépticas, apósitos quirúrgicos, por mencionar algunos. La literatura revisada muestra un prometedor futuro para las AgNPs, pues no solo tienen actividad antibacteriana frente a las principales bacterias orales aerobias y anaerobias Gram positivas y Gram negativas, sino también un efecto antifúngico y propiedades antiinflamatorias, sin comprometer las propiedades de la mayoría de los materiales a los cuales son incorporadas. Sin embargo, su uso sigue siendo controvertido debido a que estos nanomateriales pertenecen a una nueva clase de material; el progreso en esta nueva disciplina (la nanotoxicología) depende de encontrar metodologías que permitan evaluar la toxicidad en estados químicos, estudios *in vitro* y clínicos.

PALABRAS CLAVE: nanopartículas de plata, AgNPs, odontología.

Introducción

La plata se ha utilizado como un potente agente antimicrobiano y cicatrizante, desde la antigüedad fue utilizada empíricamente antes de conocerse que los microorganismos eran los agentes infecciosos. Los coloides eléctricos de plata se convirtieron en el pilar de la terapia antimicrobiana en la primera mitad del siglo XX y hasta la introducción de los antibióticos a principios de la década de 1940 (Alexander, 2009).

La forma ionizada de plata (Ag^{+1}) tiene propiedades antimicrobianas conocidas y se ha empleado en el cuidado de heridas por quemaduras durante más de 200 años (Barillo y Marx, 2014; Noronha *et al.*, 2017).

La plata y los antimicrobianos a base de plata fueron relegados después del descubrimiento de los antibióticos. Con la aplicación de antibióticos durante casi un siglo, aparecieron cepas microbianas resistentes y los antibióticos se han vuelto menos eficaces. Sin embargo, gracias a la conjunción de la nanomedicina con la medicina tradicional podemos contar con una forma innovadora, la de las nanopartículas de plata (AgNPs) (Ebrahiminezhad *et al.*, 2016). Las AgNPs son partículas nanométricas (5nm-100nm), con una gran área de superficie y mayores interacciones biológicas, son estructuras funcionalizables, poseen baja volatilidad, baja toxicidad, elevada estabilidad térmica, lo cual conlleva a que la terapéutica antimicrobiana mejore (Liao *et al.*, 2019).

La nanomedicina ha tenido recientemente un gran auge, combina la nanotecnología con las ciencias biomédicas y farmacéuticas, se centra en el desarrollo de las nanopartículas (NP) para aplicaciones profilácticas, diagnósticas y terapéuticas. Ofrece, además, soluciones potenciales para muchos desafíos actuales y tiene beneficios farmacocinéticos, de eficacia seguridad y focalización cuando se incluyen en las formulaciones de medicamento o cuando se emplean en la elaboración de nanobiomateriales (Barkat *et al.*, 2018; Aziz *et al.*, 2017).

Mecanismo de acción de las AgNPs

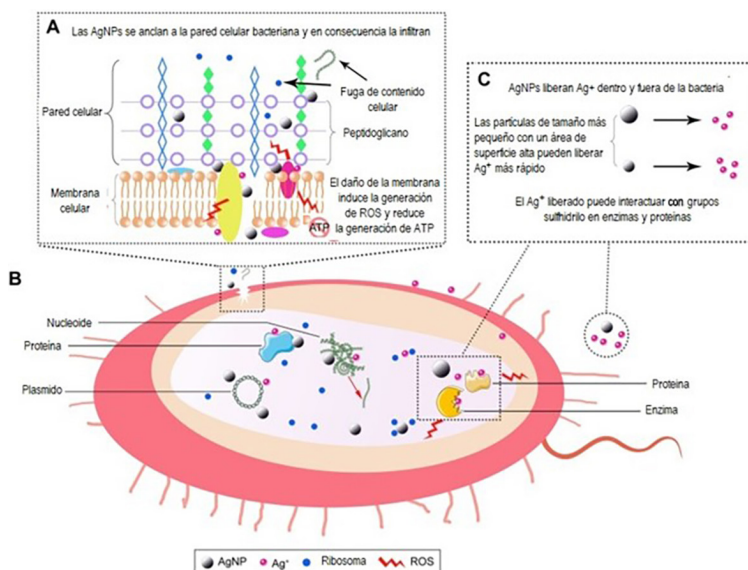
La acción antimicrobiana contra bacterias Gram positivas y Gram negativas, su mínima toxicidad a bajas concentraciones para las células de mamíferos y

la posibilidad de convertirse en antibióticos de nueva generación permiten que las AgNPs sean una alternativa importante para utilizarse contra la resistencia a los antibióticos (Aziz *et al.*, 2017).

Las AgNPs alteran el crecimiento microbiano al inhibir la absorción de fosfato, colapsar la fuerza motriz del protón, formar complejos con el ADN, la inactivación enzimática, así como la inhibición de la oxidación de la glucosa, cambiando la permeabilidad y el potencial de la membrana celular e induciendo a las bacterias a un estado viable pero no cultivable y eventualmente matándolas (Liao *et al.*, 2019).

Además, se ha demostrado que las AgNPs interrumpen la formación de biopelículas (Aziz *et al.*, 2017). Un mecanismo diferente de acción antibacteriana de las AgNPs es la formación de radicales libres y la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), que inducen daño a la membrana y tienen una potente actividad bactericida (figura 1). Pero el mecanismo fundamental es la capacidad de las AgNPs para interferir con el proceso de replicación bacteriana al unirse al ADN o ARN. Los iones Ag^+ interactúan fuertemente con grupos tiol en enzimas vitales y con las bases del ADN que contienen fósforo. La interacción de las AgNPs con el ADN puede evitar que el ADN se replique, evitando la división celular, lo cual podría llevar a la muerte celular (Dos Santos *et al.*, 2014) (figura 1).

FIGURA 1. Mecanismo antibacteriano de las AgNPs sobre las bacterias.

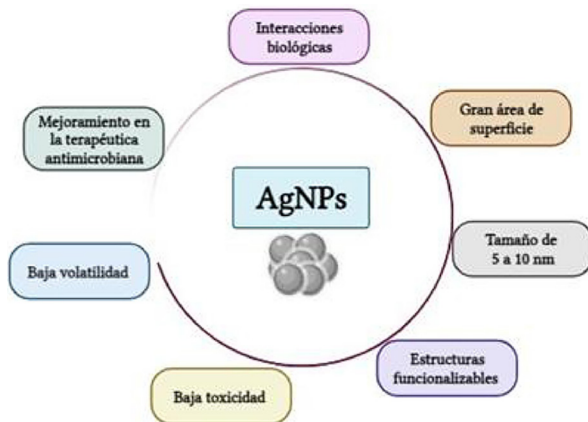


Las AgNPs se adhieren a la pared celular (A), posteriormente penetran llegando a la zona nuclear y otras partes de la célula (B), liberándose radicales Ag^+ (C), lo cual produce varios efectos como daño al ADN y formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), entre otros mecanismos, produciendo la muerte de la célula.

Fuente: Adaptada de Qing *et al.* (2018).

Hoy en día, las AgNPs se utilizan en muchos productos comerciales, incluidos jabones, plásticos, alimentos, textiles, catéteres y vendajes. Se calcula que alrededor de 383 productos se basan en nanopartículas de plata en todo el mundo, lo cual corresponde al 24% de todos los nanoproductos utilizados en la actualidad (De Maties *et al.*, 2018) (figuras 2 y 3).

FIGURA 2. Características de las AgNPs.



Las AgNPs poseen diversas características que las hace únicas y mejora su efecto antibacteriano. Fuente: Elaboración de los autores (creado por BioRender.com).

FIGURA 3. Usos de las AgNPs.



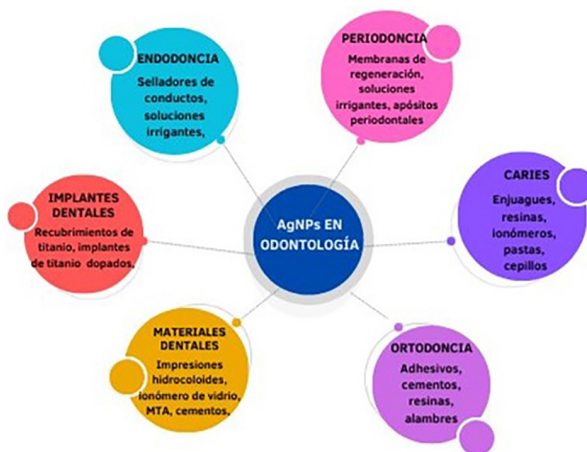
Las AgNPs se usan en diferentes industrias, agroalimentaria, médica, farmacéutica, cosmética, electrónica, entre otras. Se pueden emplear en plásticos, textiles, equipos médicos, contenedores, desinfectantes, materiales dentales, etcétera.

Fuente: Elaboración de los autores (creado por BioRender.com).

AgNPs y la odontología

Particularmente en odontología, las nanopartículas han demostrado ser un área prometedora debido a la variedad de nuevas opciones y posibilidades de tratamiento, se han estudiado ampliamente por sus propiedades antimicrobianas contra bacterias, virus y hongos, presentando un potencial significativo para combatir la resistencia a los fármacos antimicrobianos (Ventola *et al.*, 2012) (figura 4).

FIGURA 4. AgNPs y sus aplicaciones en odontología.



Las AgNPs se pueden emplear en diversos áreas de la odontología.
Fuente: Elaboración de los autores.

Caries

La caries dental es una enfermedad oral infecciosa crónica común que afecta tanto a adultos como a niños (Wu *et al.*, 2018). *Streptococcus mutans* (*S. mutans*) es una de las bacterias implicadas como uno de los agentes causales de la caries dental en humanos. Una propiedad importante de la virulencia de esta bacteria es su capacidad para formar biopelícula en las superficies de los dientes (antes denominada como placa dental). Este microorganismo produce polisacáridos extracelulares, glucosiltransferasas, múltiples proteínas de unión a glucano, antígeno de proteína C, proteína de unión a colágeno y proteínas de superficie coordinándose para inducir la formación de biopelícula, lo cual puede inducir caries dental (Ventola, 2017; Pelgrift *et al.*, 2013).

Las biopelículas bacterianas son un grave problema de salud mundial debido a su capacidad para tolerar antibióticos y sistemas de defensa del hospedero contribuyendo a la creación de infecciones crónicas persistentes (Matsmoto-Nakano, 2018; Sharma *et al.*, 2019).

Recientes investigaciones indican que soluciones antimicrobianas de AgNPs evitan la formación de biopelícula y actúan contra las principales bacterias cariogénicas. Se han evaluado formulaciones de AgNPs contra *S. mutans* con efectos antibacterianos (Misba *et al.*, 2016; Schwass *et al.*, 2018; Morales *et al.*, 2018; Elgamily *et al.*, 2018). Pérez-Díaz *et al.* (2015) probaron la actividad antimicrobiana de las AgNPs contra un aislado clínico de *S. mutans*, encontrando una actividad antibiopelícula, contra *S. mutans* y presentaron compatibilidad con fibroblastos humanos. También encontraron que la actividad antimicrobiana de las AgNPs contra el aislado clínico planctónico era dependiente del tamaño y la concentración de las nanopartículas, con AgNPs más pequeñas tenían una concentración mínima inhibitoria más baja. Sin embargo, las AgNPs a altas concentraciones (> 10 ppm) mostraron un efecto citotóxico sobre los fibroblastos humanos.

Existen diversas investigaciones con resinas, siliconas y biopolímeros a los que se añaden AgNPs, para que tengan efecto antibacteriano e inhiban el crecimiento de *S. mutans* (Ghahremanloo *et al.*, 2016; Chladek *et al.*, 2016; dos Santos *et al.*, 2017). Farahani *et al.* (2018) evaluaron la eficacia de los compuestos de resina que contienen nanopartículas de plata contra *S. mutans*. A los compuestos de resina les incorporaron diferentes concentraciones 0.002 g a 0.005 g en peso de nanopartículas de plata y las dejaron en contacto con la suspensión bacteriana en diferentes tiempos de 3, 24 y 48 horas. Los resultados mostraron que todos los compuestos conteniendo AgNPs tuvieron efectos antibacterianos ($p \leq 0.05$) al aumentar la cantidad de AgNPs a 0.003 g, el efecto antibacteriano aumentó y el crecimiento bacteriano disminuyó significativamente ($p = 0.001$), concluyen que el grupo más eficiente fue el de 0.003g.

Actualmente, se realizan pruebas con nuevas terapias fotodinámicas con AgNPs como terapias antimicrobianas modernas altamente efectivas contra *S. mutans* (Misba *et al.*, 2016; Saafan *et al.*, 2018). Misba *et al.* (2016) evaluaron la eficacia antibiopelícula de la terapia fotodinámica mediante la conjugación de un fotosensibilizador de azul de toluidina "o" (TBO), con AgNPs contra *S. mutans* encontrando conjugados que regulan negativamente la expresión de genes involucrados con biopelículas en comparación con TBO solo, y concluyen que el conjugado TBO-AgNPs es más fototóxico contra la biopelícula de *S. mutans* que el TBO solo.

Do Nascimento *et al.* (2015) investigaron los posibles cambios de la microbiota oral en individuos sanos expuestos a un cepillado controlado con cerdas de cepillo recubiertas de clorhexidina o AgNPs y encontraron que los cepillos con AgNPs redujeron el recuento total e individual del genoma en la biopelícula supra y subgingivalmente después de 4 semanas y la clorhexidina solo redujo el recuento del genoma individual en la biopelícula supra- gingival.

Al *et al.* (2020) realizaron un ensayo clínico aleatorizado, simple ciego, el objetivo fue evaluar la eficiencia cariostática de un fluoruro de nanoplatina sin-

tetizado biológicamente con extracto de té verde (NSF-GTE) y un fluoruro de diamina de plata (SDF) al 38% en dientes temporales de niños en edad precolar, incluyeron sesenta y tres prescolares con un total de 164 lesiones activas, se agruparon al azar en dos grupos: A: 32 niños con 83 lesiones tratados con NSF-GTE - ; B: 31 niños con 81 lesiones tratados con SDF. A los seis meses, la tasa de detención total fue del 67.4% y del 79.6% para NSF-GTE y SDF, respectivamente; concluyeron que tanto SDF como NSF-GTE presentaron eficacia cariostática en dientes primarios, ningún niño presentó algún efecto adverso asociado con el nano fluoruro de plata.

La tabla 1 muestra las principales investigaciones con las AgNPs y la caries.

Materiales para endodoncia

El tratamiento exitoso de los tejidos endodónticos infectados o inflamados depende de la desinfección bacteriana del sistema del conducto radicular para evitar la reinfección y la irrigación química para desinfectar, disolver y eliminar los desechos necróticos de la pared y los espacios del canal radicular (Morio *et al.*, 2019). La compleja anatomía del conducto radicular hace que la limpieza microbiana completa sea particularmente difícil, incluso con una preparación y llenado minucioso del conducto radicular (Widbiller *et al.*, 2021).

Enterococcus faecalis (*E. faecalis*) induce infecciones persistentes y a menudo se asocia con biopelículas microbianas de múltiples especies en infecciones del conducto radicular y enfermedades endodónticas (Farshad *et al.*, 2017; Ertem *et al.*, 2017).

Las AgNPs han llamado la atención de los científicos debido a sus propiedades antibacterianas, en los últimos años se están evaluando soluciones irrigadoras que incorporan AgNPs para mejorar sus efectos antibacterianos, las cuales se han probado contra *E. faecalis* (Wu *et al.*, 2014; Abbaszadegan *et al.*, 2015; Rodrigues *et al.*, 2018; Schwass *et al.*, 2018). La tabla 2 muestra las investigaciones realizadas con las AgNPs en endodoncia.

Chávez *et al.* (2017) evaluaron la citotoxicidad, genotoxicidad y actividad antibacteriana de nanopartículas de plata recubiertas con alcohol vinílico (AgNPs-PVA) y farnesol (FAR), realizaron la desinfección del conducto radicular con diferentes protocolos de riego y se evaluó *ex vivo* en dientes humanos contaminados con *E. faecalis* durante 21 días. Encontraron que las soluciones AgNPs-PVA y FAR mostraron baja citotoxicidad sin efectos genotóxicos en las células de fibroblastos; además, tenían eficacia antimicrobiana en la reducción de *E. faecalis*, por lo cual presentan un potencial para su uso en protocolos finales de riego endodóntico. Este estudio concuerda con otro en donde se probó la eficacia de AgNPs recubiertas con líquido iónico a base de imidazolio con carga positiva en donde mostraron resultados antibacterianos prometedores contra *E. faecalis* y exhibieron un alto nivel de citocompatibilidad para las células de fibroblastos L929 (Rodrigues *et al.*, 2018). Nabavizadeh *et al.* (2018)

Tabla 1. Estudios de AgNPs en caries.

Fuente	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Ahmed et al. (2023)	In vitro	Las AgNPs de goma arábiga (GA-AgNPs) se formularon en una pasta de dientes (TP) utilizando una TP comercial a una concentración no activa, para producir GA-AgNPs_TP. Concentración: 0.4g. Tamaño de partícula: 4-26nm	<i>Streptococcus mutans</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Candida albicans</i> y <i>S. sanguis</i> .	Se evaluó la citotoxicidad de GA-AgNPs_0.4g y GA-AgNPs_TP-1 en las células de fibroblastos de la mucosa bucal (BMF) mediante el ensayo MTT. GA-AgNPs_0.4g-TP-1 y GA-AgNPs_0.4g son citotóxicos para las células representativas de la mucosa oral (BMF) en las mismas concentraciones.	Se demostró que la actividad antimicrobiana no selectiva y la citotoxicidad tanto de GA-AgNPs_0.4g como de GA-AgNPs_TP-1 dependen del tiempo y la concentración.
Mohandoss et al. (2023)	In vitro	Enjuague bucal que contenía AgNPs síntesis verde de nanopartículas de plata biogénicas se realizó utilizando Ulvan, un polisacárido sulfatado extraído de <i>Ulva lactuca</i> (UHeat-AgNPs). Concentración: 100 µL/mL. Tamaño de partícula: 8-33 nm	<i>S. aureus</i> , <i>S. epidermidis</i> , <i>E. coli</i> y <i>P. aeruginosa</i>	Se evaluó la citotoxicidad <i>in vitro</i> de UHeat-AgNP y CitrateHeat AgNP empleando la línea celular de fibroblastos de embrión de ratón Balb3T3. Los valores de IC50 obtenidos de 10,4 ± 0,3 y 10,9 ± 0,8 para UHeat-AgNP y CitrateHeat-AgNP, respectivamente, resultaron más altos con respecto a los AgNP preparados por el método convencional.	Las AgNPs desarrolladas basadas en Ulvan mostraron un CI50 en el rango de 10 µg/ml en fibroblastos de embriones de ratón Balb/3T3 y actividad antimicrobiana frente a bacterias Gram positivas y Gram negativas.
Tărăboanță et al. (2023)	In vitro	Resina compuesta microhíbrida activada por luz modificada con AgNPs con <i>Equisetum sylvaticum</i> . Concentración: 0.5%, 1% y 1.5%. Tamaño de partícula: no reportado.	<i>Streptococcus mutans</i>	No estudiada.	El uso de nanopartículas de plata al 1% y al 1.5% en peso sintetizadas a partir de <i>Equisetum sylvaticum</i> como relleno de resina compuesta redujo la actividad de <i>Streptococcus mutans</i> . La carga de una resina compuesta microhíbrida comercial con AgNPs en concentraciones de 0.5% en peso, 1% en peso y 1.5% en peso no influyó en la dureza de la superficie.
Gligorijevic et al. (2022)		Resinas base de prótesis de curado en frío y calor modificadas con AgNPs. Concentración: 2%, 5% y 10%. Tamaño de partícula: 50-100 nm	<i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Candida albicans</i>	No estudiada.	Las resinas de base de prótesis modificadas pueden reducir significativamente la presencia de infección en el punto de contacto entre la dentadura postiza y la membrana mucosa de la restauración protésica.

Continúa ▼

Tabla 1. Estudios de AgNPs en caries (continuación).

Fuente	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Arif et al. (2022)	In vitro	Resina dental con AgNPs. Concentración: 1 mM Tamaño de partícula: no reportado. Resina dental con AgNPs cargadas con ciprofloxacino CIP-AgNPs. Concentración: 1 mM Tamaño de partícula: 33.5 - 98.32 nm	<i>Streptococcus mutans</i> y <i>Enterococcus faecalis</i>	El ensayo hemolítico se realizó para comprobar la biocompatibilidad de discos experimentales de composite dental que contenían CIP-AgNPs, AgNPs y composite de resina comprados comercialmente. Estos resultados muestran que los discos compuestos que contenían CIP-AgNPs eran más biocompatibles que los que contenían un 1% de AgNPs.	Esta investigación demostró que la adición de CIP-AgNPs mejoró las características mecánicas y la actividad antibacteriana de las restauraciones de composite a base de resina.
Rajendran et al. (2021)	In vivo	Material de impresión hidrocoloide irreversible (IH) impregnadas con AgNPs. Concentración: 2.5% en peso Tamaño de partícula: 20 - 30 nm, 80-100 nm	<i>Streptococcus mutans</i>	No estudiada.	El material de impresión IH impregnado con AgNPs de tamaño 80-100 nm puede utilizarse como una alternativa eficaz a las impresiones desinfectadas con glutaraldehído al 2% por el método de inmersión.
Chittrarasu et al. (2021)	In vitro	AgNPs en polvo síntesis verde con <i>Galla Chinensis</i> (GC-AgNPs). Concentración: 1000, 750, 500, 125 y 62.5 µg/ml Tamaño de partícula: no reportado.	<i>Streptococcus mutans</i> y <i>Lactobacillus acidophilus</i> .	No estudiada.	Los resultados muestran una diferencia estadísticamente significativa entre todas las concentraciones (1000 µg/ml, 500 µg/ml, 250 µg/ml, 125 µg/ml, 62.5 µg/ml) en las AgNPs sintetizadas (GC-AgNPs) con <i>Galla Chinensis</i> , siendo las de 1000 µg/ml las que tienen mejor efecto contra <i>S. mutans</i> y <i>L. acidophilus</i> .
Jiménez et al. (2021)	In vitro	Solución de AgNPs con ácido gálico el pH se ajustó a 11 con una solución 1 M de hidróxido de sodio. Concentración: 1 mM Tamaño de partícula: 5.2 ± 1.2 nm Solución de AgNPs con ácido gálico ajustando el pH a 11 utilizando una solución de hidróxido de amonio. Concentración: 1 mM Tamaño de partícula: 374 ± 3.6 nm	<i>Streptococcus mutans</i> , <i>Streptococcus sobrinus</i> , <i>Streptococcus gordonii</i> , <i>Streptococcus sanguinis</i> , <i>Streptococcus salivarius</i> y <i>S. oralis</i>	No estudiada.	Las AgNPs utilizadas en este estudio se prepararon con éxito con características físicas bien definidas. Se identificó que la actividad bactericida de las AgNPs estuvo significativamente relacionada con el tamaño de partícula, siendo las de menor tamaño las que presentaron mayor efecto.

Continúa ▼

Tabla 1. Estudios de AgNPs en caries (continuación).

Fuente	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Yujiong et al. (2021)	In situ	Resina adhesiva dental con AgNPs. Concentración: 0.1 %, 0.2%. Tamaño de partícula: 10.9 ± 3.7 nm y 8.8 ± 4.2 nm Resina compuesta reforzada con nanocables de hidroxiapatita cargados de AgNPs. Concentración: Tamaño de partícula: 10 a 20 nm	<i>Streptococcus mutans</i>	La citotoxicidad frente a fibroblastos del ligamento periodontal humano se examinó mediante el ensayo CCK-8. Las pruebas mostraron que no tuvieron efecto sobre la tasa de crecimiento relativo celular (RGR). No se observaron diferencias significativas en la RGR después de diferentes tiempos de incubación.	La incorporación de AgNPs no comprometió el grado de conversión y biocompatibilidad de los grupos 0.1% Ag y 0.2% Ag. La síntesis <i>in situ</i> de AgNPs podría ser una técnica prometedora en la modificación antibacteriana de la resina adhesiva dental.
Al et al. (2020)	In vitro	Resina compuesta reforzada con nanocables de hidroxiapatita cargados de AgNPs. Concentración: Tamaño de partícula: 10 a 20 nm	<i>Streptococcus mutans</i>	En los extractos de nanocables de hidroxiapatita cargados con AgNPs, el crecimiento de fibroblastos I929 se inhibió significativamente, lo cual indica la citotoxicidad de los iones de plata solubles.	Se detectó una liberación continua de iones de plata de los compuestos. El hallazgo demostró que los nanocables HA-PDA-Ag podrían servir como nanorrellenos funcionales para resinas compuestas.
Morales et al. (2018)	In vitro	Solución de AgNPs síntesis verde con <i>Heterotheca inuloides</i> (Hi). Concentración: 10 mM Tamaño de partícula: 17.5 nm <i>Camellia sinensis</i> (Cs). Concentración: 10 mM Tamaño de partícula: 48.2 nm	<i>Streptococcus mutans</i> y <i>Lactobacillus casei</i>	No estudiada.	Se observó un mayor efecto antibacteriano de las AgNPs sintetizadas con Hi, seguido de Cs.
Eigamily et al. (2018)	In vitro	Nanocare Plus Silver Gold. Concentración: no reportada. Tamaño de partícula: no reportada.	<i>Streptococcus mutans</i>	No estudiada.	El desinfectante de cavidades NanoCare mostró buenas propiedades antibacterianas contra <i>S. mutans</i> .
Saafan et al. (2018)	In vitro	Láser de diodo, láser de diodo de 650 nm, con el fotosensibilizador de azul de metileno (MB) y las AgNPs líquidas. Concentración: 200 µg / ml Tamaño de partícula: 19 ± 5 nm	Modelos de caries inducida por <i>Streptococcus mutans</i>	No estudiada.	La combinación de MB, láser y AgNPs registró la mayor reducción (95.28%). La combinación de MB, láser de diodo de 650 nm y AgNPs puede estar entre las terapias antimicrobianas modernas más eficaces en odontología.

Continúa ▼

Tabla 1. Estudios de AgNPs en caries (continuación).

Fuente	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Farahani et al. (2018)	<i>In vitro</i>	Resina fluida que contenía AgNPs (NANOSAV / IRAN). Concentración: 0.002 g 0.003 g 0.004 g 0.005 g Tamaño de partícula: 40 nm	<i>Streptococcus mutans</i>	No estudiada.	En este estudio, todos los grupos que contenían AgNPs tuvieron efectos antibacterianos que fueron estadísticamente significativos en todos los grupos y la concentración bactericida mínima fue de 0.002 g y el grupo más eficiente fue el de 0.003 g de AgNPs.
Dos Santos et al. (2017)	<i>In vitro</i>	Coloide de AgNPs estabilizadas con quitosano a diferentes Concentración: 159.9 µg/mL Tamaño de partícula: 8.7 ± 3.7 nm Concentración: 169.2 µg/mL Tamaño de partícula: 15.0 ± 7.9 nm Concentración: 157.8 µg/mL Tamaño de partícula: 31.8 ± 10.4 nm Concentración: 155.8 mg/mL Tamaño de partícula: 43.2 ± 14.3 nm	<i>Streptococcus mutans</i>	No estudiada.	El tamaño y la forma de las nanopartículas no alteraron la propiedad antimicrobiana de los coloides contra <i>Streptococcus mutans</i> , resultando equivalente a la de la clohexidina.
Ai et al. (2017)	<i>Clínico</i>	Floruro con AgNPs sintetizadas con extracto de té verde (NSF-GTE). Concentración: 1 mM Tamaño de partícula: no reportado.	63 niños de 3 a 6 años con código de ICDAS II	No estudiada.	NSF-GTE presentó eficacia cariostática en dientes temporales, puede considerarse como una opción para tratar dientes primarios cariados en comunidades desfavorecidas, pues es simple, rentable para la producción en masa y no requiere una técnica de aplicación sensible.
Misba et al. (2016)	<i>In vitro</i>	Terapia fotodinámica conjugando un fotosensibilizador con AgNPs AgNPs con dextrano y PVP. Concentración: 1 mM Tamaño de partícula: 18 nm AgNPs con citrato de sodio y PVP Concentración: 1 mM Tamaño de partícula: 21-24 nm	<i>Streptococcus mutans</i>	Ensayo MTT Viabilidad celular > 75%.	Se descubrió que la TFD inducida por el conjugado TBO-AgNPdex inhibe la biopelícula de <i>S. mutans</i> en mayor medida que el TBO solo.

Continúa ▼

Tabla 1. Estudios de AgNPs en caries (continuación).

Fuente	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Pérez et al. (2015)	In vitro	Solución de AgNPs con ácido. Gálico. Concentración: 1070 pp Tamaño de partícula: 9.5 nm Ph 11 25.9 nm Ph 10 78.7 nm	<i>Streptococcus mutans</i>	Viabilidad celular con homodímero de etidio y calceína. A una concentración de 10 ppm, las AgNP no afectaron la viabilidad de los fibroblastos, pero a una concentración de 50 ppm la viabilidad celular disminuyó en un 50%.	Las AgNP previenen eficazmente la formación de biopelículas y matan las bacterias en biopelículas establecidas.
Do Nascimento et al. (2015)	Clínico	Cepillo dental con AgNPs. Concentración: no reportada. Tamaño de partículas: no reportado.	En veinticuatro participantes sanos (12 hombres y 12 mujeres; edad media 21 a 50 años) sin caries ni enfermedad periodontal.	No estudiada.	Las cerdas de los cepillos de dientes impregnadas con AgNPs han reducido el recuento del genoma total e individual en la biopelícula supra y subgingival después de 4 semanas de cepillado. La clorhexidina no fue eficaz para reducir el recuento total del genoma tanto en la biopelícula supra como en la subgingival.

Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 2. Estudios de AgNPs en endodondia.

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Abdou <i>et al.</i> (2023)	<i>In vitro</i>	AgNPs (empresa Nanogate, El Cairo, Egipto). AgNPs con curcumina (empresa Nanogate). Concentración: no reportada. Tamaño de partícula: 12 ± nm	En células de fibroblastos gingivales (ATCC PCS-201-012).	La viabilidad celular se evaluó mediante el ensayo WST-1 utilizando el kit Abcam (Reino Unido) (reactivo de proliferación celular ab 155902 WST-1). El mayor porcentaje de viabilidad de células vivas se detectó en el grupo control, luego en el grupo AgNPs con curcumina y luego en el grupo AgNPs.	El porcentaje de viabilidad celular de las AgNPs con el grupo de curcumina fue menor que el de las AgNPs y el grupo de Ca(OH) ₂ , pero siguen siendo no citotóxico. Los tres medicamentos intracanales analizados no fueron citotóxicos.
Mahmoud <i>et al.</i> (2022)	<i>In vitro</i>	Gel intracanal de AgNPs. Concentración: 0.01%, 0.015%, 0.02% Tamaño de partícula: 16 ± 2 nm	En noventa y cinco discos dentinarios (4x4x1 mm), se prepararon a partir de dientes humanos de una sola raíz recién extraídos	Se utilizó el ensayo de citotoxicidad de lactato deshidrogenasa (LDH) para evaluar la citotoxicidad de las diferentes concentraciones de AgNPs. El porcentaje de viabilidad celular se mantuvo por encima del 92.74% (± 10.89) después de 24 horas de cultivo, sin diferencias estadísticamente significativas entre los grupos prueba y control (P = 0.197).	Los discos dentinarios tratados durante 7 días con concentraciones de gel de AgNPs que oscilaban entre el 0.01 % y el 0.02 % permitieron la adhesión de más del 90% de las células madre de la pulpa dental (CPDP) después de 24 horas. Además, la citotoxicidad y las CPDP en respuesta al gel de AgNPs fueron comparables a las del hidróxido de calcio. Estos resultados sugieren que el gel de AgNPs puede representar un futuro prometedora para su uso clínico en endodondia regenerativa.
Celikten <i>et al.</i> (2022)	<i>In vitro</i>	Irrigante con AgNPs y quitosano. Concentración: 01 M Al 2% y 4 % de quitosano Tamaño de partícula: 15 a 20 nm	72 dientes premolares mandibulares extraídos. Todos los dientes fueron decoronados perpendicularmente al eje largo para dejar una longitud radicular de 13 mm. Se prepararon los conductos radiculares para las pruebas.	No estudiada.	Este estudio introdujo una nueva solución de irrigación final con quitosano al 0.4% que contiene AgNPs para mejorar la fuerza de unión de los selladores de conductos radiculares a base de resina. No hubo diferencias significativas entre la solución de clohexidina (CHX) sola y en combinación con la solución de quitosano al 0.2% o al 0.4%.

Continúa ▼

Tabla 2. Estudios de AgNPs en endodoncia (continuación).

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Hao-Hueng et al. (2020)	<i>In vitro</i>	Sellador de conductos radiculares, utilizando una matriz de resina biocompatible con AgNPs (UAT + Ag@ + NSP) como componentes antibacterianos. Concentración: 50, 100, 300 y 500 ppm Sellador de conductos radiculares con AgNPs y nanopartículas de óxido de zinc (UATAg/ZnO@NSP) Concentración: 50, 75 y 100ppm	<i>Enterococcus faecalis</i>	Las pruebas de biocompatibilidad se realizaron utilizando la norma ISO 10993-5 a través del ensayo Alamar Blue y el ensayo de lactato deshidrogenasa. Compuestos de ureato-acrilato(UA) AgNPs/ ZnO@NSP con 100 ppm exhibirán una buena biocompatibilidad. Los compuestos que solo contienen AgNPs exhibirán un rendimiento deficiente en citotoxicidad.	Los acrilatos de uretano basados en PCPO con 50 ppm de AgNP y ZnONP inmovilizados en plaquetas de silicato, es decir, Ag/ZnO@NSP, exhibieron un gran potencial como compuesto antibacteriano para el sellador de la obturación del conducto radicular.
Saigy et al. (2022)	<i>In vitro</i>	Solución de AgNPs. Concentración: 1 mM Tamaño de partícula: 8-20 nm	Se utilizaron cuarenta premolares mandibulares humanos maduros de raíz única sin lesiones de caries ni anomalías.	No estudiada.	El grupo AgNPs mostró el mayor cambio de color. El cambio de color de la solución de NaOCl es el más bajo de todos los grupos de tiempo. Las AgNPs pueden sugerirse como irrigantes intracanal para los dientes posteriores en relación con la decoloración de los dientes. Se requieren más investigaciones para determinar los diferentes campos de uso en endodoncia.
Loyola et al. (2019)	<i>In vitro</i>	Sellador endodóntico que contiene AgNPs y quitosano (CSNPs). Concentración: 0.01 M Tamaño de partícula: 54.2 ± 8.5	<i>Enterococcus faecalis</i>	No estudiada.	Se demostró que todos los selladores endodónticos individuales probados tienen buenas propiedades antibacterianas; sin embargo, su eficacia antimicrobiana contra <i>E. faecalis</i> mejoró especialmente cuando se añadió clorhexidina (Chx) o la combinación CsNPs-Chx. Dado que las CsNP tienen un amplio espectro de actividad y una alta tasa de destrucción contra bacterias Gram (+), podrían ser un material excelente para agregar a los selladores endodónticos.

Continúa ▼

Tabla 2. Estudios de AgNPs en endodoncia (continuación).

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Zheng et al. (2018)	<i>In vitro</i>	Cristales líquidos liotrópicos (CLL) que contiene 0.5% de CHX y 0.02% de AgNPs	<i>Enterococcus faecalis</i>	La citotoxicidad <i>in vitro</i> de las formulaciones precursoras se determinó mediante el ensayo CCK-8, con fibroblastos del ligamento periodontal (FLP). La citotoxicidad de todas las formulaciones se clasificó como toxicidad de grado 1 según la evaluación biológica de los dispositivos médicos, lo cual sugiere una baja citotoxicidad de los precursores de LLC.	El precursor CLL que contiene CHX-Ag-NP exhibió un efecto de esterilización excelente y sostenido sobre <i>Enterococcus faecalis</i> durante más de un mes con una tasa de inactivación bacteriana ≥ 98.5%. El estudio concluye que el precursor CLL que contiene CHX-Ag-NP es un desinfectante intracanal prometedor.
Ioannidis et al. (2019)	<i>In vitro</i>	AgNPs sintetizadas en una matriz acuosa de óxido de grafeno (GO) (Ag-GO). Concentración: 0.25% Tamaño de partícula: 20-50 nm	<i>Propionibacterium acnes</i> , <i>Actinomyces radidentis</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Streptococcus mitis</i> y <i>Enterococcus faecalis</i>	No estudiada.	La eficacia de eliminación microbiana del NaOCl al 2.5% fue superior en comparación con los grupos experimentales. La máxima disrupción del biofilm, en las superficies de los túbulos dentinarios, se logró con un 2.5% de NaOCl, sin embargo, Ag-GO provocó una reducción significativa de los biovolúmenes totales en comparación con el resto de los grupos experimentales ($P < 0.05\%$).
Schwass et al. (2018)	<i>In vitro</i>	Desinfectante coloidal de dentina con AgNPs estabilizadas con SDS. Concentración: 8.8 mM Tamaño de partícula: 6.7 A 9.2 nm	<i>Streptococcus gordonii</i> , <i>Streptococcus mitis</i> , <i>Streptococcus mutans</i> y <i>Enterococcus faecalis</i>	No estudiada.	La formulación de AgNPs estabilizada con SDS se muestra como posible tratamiento de desinfección para el tratamiento de la caries dental.
Rodríguez et al. (2018)	<i>In vitro</i>	Solución de AgNPs Concentración: 94 ppm Tamaño de partícula: no reportado.	<i>Enterococcus faecalis</i>	No estudiada.	El irrigante AgNPs no fue tan efectivo contra <i>E. faecalis</i> en comparación con las soluciones comúnmente utilizadas en el tratamiento de conductos radiculares. El NaOCl es apropiado como irrigante porque fue eficaz para alterar la biopelícula y eliminar las bacterias en las biopelículas y en los túbulos dentinarios.

Continúa ▼

Tabla 2. Estudios de AgNPs en endodoncia (continuación).

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Nabavizadeh et al. (2018)	<i>In vivo</i>	Solución de AgNPs. Concentración: 5.7×10^{-8} Tamaño de partícula: 9.0 nm	Se seleccionaron dieciocho ratas Sprague-Dawley macho, de 4 a 5 meses de edad, con un peso de 200-300 gr, y se dividieron aleatoriamente en 5 grupos	No estudiada.	En comparación con NaOCl y CHX, es posible etiquetar las AgNPs como un agente compatible con los tejidos.
Chávez et al. (2017)	<i>In vitro</i>	Solución de AgNPs-PVA. Concentración: 50 mM Tamaño de partícula: 4-11 nm	<i>Enterococcus faecalis</i>	Ensayo colorimétrico MTT con fibroblastos línea celular L929. Las soluciones AgNPs-PVA y FAR mostraron baja citotoxicidad sobre los fibroblastos.	La solución tuvo eficacia antimicrobiana para reducir <i>E. faecalis</i> , presenta potencia para su uso como protocolos de irrigación final en el tratamiento de conducto.
Afkhani et al. (2017)	<i>In vitro</i>	Suspensión de AgNPs Concentración: 100 ppm Tamaño de partícula: 30 nm	<i>Enterococcus faecalis</i>	No estudiada	El uso de suspensión de AgNPs de 100 ppm y la irrigación convencional con NaOCl al 2.5% mostraron una eficacia antimicrobiana similar. AgNPs/JCG/810 nm DL logró disminuir el recuento intracanal de <i>E. faecalis</i> ; por lo tanto, este método tiene un alto potencial de uso en tratamientos de endodoncia para la eliminación de <i>E. faecalis</i> .
Abbaszadegan et al. (2015)	<i>In vitro</i>	AgNPs neutras. Concentración: 4.0×10^{-8} mol L Tamaño de partícula 10.1 nm AgNPs carga negativa con Borohidruro de sodio (NaBH ₄). Concentración 9.7×10^{-8} mol L Tamaño de partícula: 7.5 nm AgNPs carga positiva. Concentración: 5.7×10^{-8} mol L Tamaño de partícula: 9.0 nm	<i>Enterococcus faecalis</i>	Ensayo colorimétrico MTT con fibroblastos de ratón L929. Se encontró que las AgNPs poseían un efecto citotóxico considerablemente menor contra líneas celulares de fibroblastos L929 <i>in vitro</i> en comparación con NaOCl y CHX	La carga superficial de AgNPs fue importante en la eficacia bactericida contra <i>E. faecalis</i> . Las AgNPs protegidas con líquido iónico a base de imidazolio con carga positiva mostraron resultados antibacterianos prometedoros contra <i>E. faecalis</i> y exhibieron un alto nivel de citocompatibilidad con las células L929.

Continúa ▼

Tabla 2. Estudios de AgNPs en endodoncia (continuación).

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Wu et al. (2014)	<i>In vitro</i>	Solución de AgNPs (Huzheng Nano Technology Co, Ltd, Shanghai, China). Concentración: 0.1% Tamaño de partícula: no reportado. Gel AgNPs (Huzheng Nano Technology Co, Ltd). Concentración: 0.02% y 0.01% Tamaño de partícula: no reportado.	No estudiada	No estudiada.	Los hallazgos de este estudio sugirieron que la eficacia antibiótica de las AgNPs depende del modo de aplicación. Las AgNPs como medicamento y no como irrigante mostraron potencial para eliminar biopelículas bacterianas residuales durante la desinfección del conducto radicular.

Fuente: Elaboración de los autores

evaluaron la biocompatibilidad de un irrigante del conducto radicular con una solución de nano-plata iónica recubierta con líquido de imidazolio con carga positiva, este estudio se hizo en animales de experimentación ratas Sprague-Dawley machos, estos se dividieron al azar en 5 grupos: solución salina normal 0.9% (grupo 1), 5.25% NaOCl (grupo 2), 2.5% NaOCl (grupo 3), solución de clorhexidina al 2.0% (grupo 4) y AgNPs a 5.7×10^{-8} M /L (grupo 5), inyectaron en 5 sitios de piel dorsal de cada rata. La reacción inflamatoria tisular fue evaluada histopatológicamente después de 2 h, 48 h y 14 días. Todas las soluciones provocaron una mayor irritación tisular después de 48 hrs., sin embargo, comparando las soluciones de AgNPs con NaOCl y CHX, fue posible etiquetar a las AgNPs como un agente compatible con los tejidos.

Las propiedades de las AgNPs permiten que sean versátiles y se puedan combinar con diferentes soluciones para potenciar el efecto antibacteriano. Zheng *et al.* (2018) diseñaron y evaluaron un nuevo desinfectante intraconductos basado en la incorporación de un precursor de cristales liotrópicos (LLC) de monooleato de glicerol (OGM) con clorhexidina y AgNPs, exhibiendo un efecto de esterilización excelente y sostenido sobre *E. faecalis* durante más de un mes con una tasa de inactivación bacteriana $\geq 98.5\%$, no observaron toxicidad *in vitro* en la evaluación de citotoxicidad, por lo cual concluyen que el precursor LLC conteniendo CHX-AgNPs demostró ser un prometedor desinfectante intraconductos.

Se están probando terapias fotodinámicas con AgNPs para la desinfección de conductos radiculares inoculados con *E. faecalis* con efectos positivos como complemento para la desinfección del conducto radicular (Afkhani *et al.*, 2017).

Periodoncia

La enfermedad periodontal es el segundo padecimiento bucodental con mayor prevalencia a nivel mundial (Presas, 2016). El objetivo de la terapia periodontal es eliminar los organismos patógenos presentes en la biopelícula. Se sabe que la terapia mecánica que comprende el raspado y alisado radicular se ha convertido en el tratamiento no quirúrgico de elección para la periodontitis. No obstante, en el caso de bolsas periodontales profundas la terapia mecánica no es suficiente para erradicar por completo las bacterias patógenas (Shawky *et al.*, 2015).

Los avances recientes en nanotecnología introducen nuevos materiales terapéuticos para la regeneración periodontal. Las AgNPs están siendo utilizadas para inhibir la proliferación de bacterias orales, pues aceleran la cicatrización de heridas y tienen efecto antibiopelícula (Mathur *et al.*, 2018; Bahador *et al.*, 2015; Halkai *et al.*, 2018). La tabla 3 exhibe los estudios llevados a cabo con las AgNPs en el ámbito de la periodoncia.

En los últimos años se han hecho estudios *in vitro* para evaluar el efecto antibacteriano de las AgNPs contra bacterias periodontopatógenas (Ertem *et*

Tabla 3. Estudios de AgNPs en periodoncia.

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Hernández et al. (2023)	<i>In vitro</i>	Solución de AgNPs con ácido gálico el pH se ajustó a 11 con una solución 1 M de hidróxido de sodio Concentración: 1 mM Tamaño de partícula: 5.4 ± 1.3 nm Solución de AgNPs con ácido gálico ajustando el pH a 11 utilizando una solución de hidróxido de amonio Concentración: 1 mM Tamaño de partícula: 17.5 ± 3.4 nm	<i>P. gingivalis</i> , <i>T. forsythia</i> , <i>T. denticola</i> , <i>P. intermedia</i> , <i>F. nucleatum</i> y <i>A. actinomycetemcomitans</i>	No estudiada.	Las soluciones de AgNPs mostraron actividad antimicrobiana en todas las muestras orales; sin embargo, las AgNPs de menor tamaño tuvieron significativamente los efectos bactericidas más altos. AgNP mostró propiedades bactericidas eficientes como terapia alternativa para el control o progresión de la enfermedad periodontal.
Bhavhya et al. (2021)	Clínico	Membrana con AgNPs (ACTICOAT®). Concentración: 70 - 100 ppm Tamaño de partícula: 15 nm	Se incluyeron 11 pacientes con periodontitis crónica, los cuales requirieron cirugía de colgajo periodontal en los lados contralaterales del arco.	No estudiada.	Los pacientes tratados con el apósito que contenía AgNPs no presentaron ningún efecto secundario y presentaron una cicatrización mejor que los que solo usaron el apósito convencional.
Xiao et al. (2019)	<i>In vitro</i>	Nanocompuesto multifuncional con nanopartículas de plata (AgNPs), 2-metacrililoetilfosf oricolina (MPC), metacrilato de dimetilaminohexadecil (DMAHDM) y nanopartículas de fosfato de calcio amorfo. Concentración: 0.08%, 0.12% y 0.16% Tamaño de partícula: 116 nm	<i>Porphyromonas gingivalis</i> , <i>Aggregatibacter actinomycetemcomitans</i> y <i>Fusobacterium nucleatum</i>	No estudiada.	El nuevo nanocompuesto multifuncional logró la mayor reducción en la actividad metabólica, el crecimiento de polisacáridos y biopelículas de tres patógenos periodontales, es prometedor para el tratamiento de lesiones radiculares, el alivio de la periodontitis y la protección de los tejidos periodontales.

Continúa ▼

Tabla 3. Estudios de AgNPs en periodoncia (continuación).

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Kalita et al. (2019)	Clínico	Megaheal gel de AgNPs. Concentración: 32 ppm. Tamaño de partícula: no reportado.	20 pacientes con diagnóstico de periodontitis crónica.	No estudiada.	Las pruebas mostraron que CHX gel y Megaheal gel como antisépticos adyuvantes y como parte del SRP tienen prácticamente el mismo efecto estadísticamente significativo en todos los parámetros clínicos estudiados.
Donghyun et al. (2018)	In vitro	Membrana de querosano que contiene AgNPs (AgCSP). Concentración: no reportada. Tamaño de partícula: 71 nm	<i>Porphyromonas gingivalis</i>	Se analizó la citotoxicidad de las diversas láminas de nanofibras en las cuales se cultivaron las células NIH 3T3 durante 24 y 48 horas. Aunque el número de células restantes en las muestras tendió a disminuir a medida que aumentaba el contenido de AgNPs, todos los resultados mostraron que las células no presentan citotoxicidad, pues la tasa de viabilidad celular excedió el 80% para todas las muestras.	Se confirmó que la membrana preparada tenía buena biocompatibilidad. Al mismo tiempo, se observó el efecto antibacteriano de las nanopartículas de plata contenidas en la membrana. Según estos resultados, la membrana CS que contiene una pequeña cantidad de AgNP se puede utilizar como membrana de apósito médico. Además, se espera que pueda aplicarse como una membrana protectora absorbente que induzca una regeneración tisular eficaz al permitir la circulación sanguínea mediante la regulación de la porosidad y el bloqueo de la infiltración tisular.
Sirisha et al. (2018)	In vitro	Solución de AgNPs con extracto de <i>Ocimum sanctum</i> . Concentración: 1 mM. Tamaño de partícula: no reportado.	<i>Fusobacterium nucleatum</i> , <i>Porphyromonas gingivalis</i> , <i>Aggregatibacter actinomycetemcomitans</i> y <i>Prevotella intermedia</i> .	No estudiada.	Los resultados sugieren que las soluciones de AgNPs tenían una actividad antimicrobiana mejorada y <i>Aggregatibacter actinomycetemcomitans</i> era más susceptible a la misma.

Continúa ▼

Tabla 3. Estudios de AgNPs en periodoncia (continuación).

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Ertem et al. (2017)	<i>In vitro</i>	Nanopartículas de plata núcleo con cubierta de sílice porosa (AgNPs@SiO ₂). Concentración: 0.18 mM con t Tamaño de partícula: 119 ± 29 nm	<i>Fusobacterium nucleatum</i> , <i>Actinomyces naeslundii</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Streptococcus sanguinis</i> , <i>Streptococcus sorbiticus</i> .	Ensayo colorimétrico MTT con fibroblastos gingivales humanos. La solución mostró una menor citotoxicidad hacia los fibroblastos gingivales humanos en comparación con la solución utilizada convencionalmente (3% de NaOCl y 17% de EDTA).	Las soluciones de riego que contienen AgNP@SiO ₂ pueden ser muy prometedoras para aplicaciones que necesitan un efecto antimicrobiano a largo plazo.
Rani et al. (2015)	<i>In vitro</i>	Membrana de regeneración tisular guiada (RTG) impregnada con AgNPs Concentración: 0.1mg/ML Tamaño de partícula: 10 nm	<i>Streptococcus mutans</i> , <i>Aggregatibacter actinomycetemcomitans</i> , <i>Fusobacterium nucleatum</i> y <i>Porphyromonas gingivalis</i>	No estudiada.	Del presente estudio, se puede concluir que la incorporación de nanopartículas de plata en la membrana puede ser valiosa para controlar la infección asociada con la membrana durante la terapia con RTG.
Emmanuel et al. (2015)	<i>In vitro</i>	Solución de AgNPs con extracto de <i>Justicia glauca</i> . Concentración de 1 Mm Tamaño de partícula: 10 - 20 nm	<i>Streptococcus mutans</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Micrococcus luteus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas Aeruginosa</i> , <i>Candida albicans</i>	No estudiada.	Este estudio demuestra que el extracto de <i>Justicia glauca</i> se puede utilizar para una producción rápida y eficiente de AgNP. La combinación de AgNP y antibióticos (Azitromicina y Claritromicina) tiene una eficacia antimicrobiana sinérgica contra los microorganismos causantes de la caries dental y la enfermedad periodontal.
Habiboallah et al. (2014)	<i>In vivo</i>	Apósito periodontal con AgNPs Concentración: 25%, 50% Tamaño de partícula: no reportado.	Se tomaron biopsias de las encías bucales en curación que rodean los dientes en las regiones donde se realizó la gingivectomía de 15 conejos el día 4 y los 15 restantes el día 7 después de la cirugía periodontal.	No estudiada.	El apósito periodontal con AgNPs tiene efectos terapéuticos potenciales positivos y acelerar la cicatrización de heridas quirúrgicas, lo cual condujo a una mejora de las consecuencias del tratamiento periodontal después de la operación.

Fuente: Elaboración de los autores.

al., 2017; Sirisha *et al.*, 2018; Rani *et al.*, 2015; Xiao *et al.*, 2019; Kalita *et al.*, 2019; Emmanuel *et al.*, 2015). Sirisha *et al.* (2018) probaron una solución de AgNPs a través de una síntesis verde, usaron extracto puro de *Ocimum sanctum* contra cuatro bacterias patógenas periodontales, *Fusobacterium nucleatum* (*F. nucleatum*), *Porphyromonas gingivalis* (*P. gingivalis*), *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* (*A.a*) y *Prevotella intermedia* (*P. intermedia*). Los resultados sugieren que las soluciones de prueba revelan su sensibilidad contra microorganismos de una manera dependiente de la dosis, al aumentar la concentración se mejora su acción antimicrobiana. Se está investigado con geles de AgNPs como complemento al raspado y alisado radicular (RAR). Kalita *et al.* (2019) evaluaron un gel con AgNPs y otro con clorhexidina como complemento al RAR en pacientes con periodontitis y encontraron reducción significativa de los parámetros clínicos evaluados en ambos grupos sin diferencias estadísticas significativas, por lo cual concluyeron que las AgNPs tienen el mismo efecto que la clorhexidina sin las secuelas correspondientes.

Xiao *et al.* (2019) desarrollaron un compuesto multifuncional con AgNPs, 2-metacrililoiloxietilfosforilcolina (MPC), metacrilato de dimetilaminohexadecilo (DMAHDM) y nanopartículas de fosfato de calcio amorfo para investigar la inhibición de biopelículas contra tres especies de patógenos periodontales *P. gingivalis*, *A. a.*, y *F. nucleatum*. El novedoso nanocompuesto multifuncional logró la mayor reducción en la actividad metabólica, el crecimiento de polisacáridos y biopelículas de los patógenos periodontales; así, concluyeron que es un antibacteriano prometedor para tratar las lesiones de raíz, aliviar la periodontitis y proteger los tejidos periodontales.

Se están haciendo pruebas con membranas impregnadas de AgNPs; Rani *et al.* (2015) investigaron la colonización y penetración de bacterias específicas en membranas de regeneración de tejido guiada (GTR) impregnadas de AgNPs, utilizando tres conjuntos de membranas GTR en el estudio: 1) GTR-C: membrana GTR simple como control negativo; 2) GTR-NS: membrana GTR impregnada con nanopartículas de plata como grupo de prueba; 3) GTR-DOX: membrana GTR impregnada con hidrocloreuro de doxiciclina al 25% (p / p) que actúa como control positivo contra cuatro organismos (*S. mutans*, *A. a.*, *F. nucleatum* y *P. gingivalis*) con fuertes capacidades adherentes a las membranas de colágeno. Las puntuaciones medias de adherencia bacteriana fueron estadísticamente significativas ($p < 0.001$), para el grupo GTR-C en comparación con los grupos GTR-DOX y GTR-NS. GTR-NS mostró puntuaciones de adherencia más bajas que GTR-DOX en los cuatro microorganismos, pero esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

En un estudio de Habiboallah *et al.* (2014), se diseñó un apósito periodontal de AgNPs y se evaluaron sus efectos sobre la curación de heridas gingivales en un modelo animal después de una cirugía periodontal, los cambios histológicos fueron monitoreados en el día 4 y 7 después de la operación para evaluar la etapa inflamatoria y de reparación del proceso de curación. Encontraron diferencias significativas en los parámetros inflamatorios y de repara-

ción del proceso de curación entre los sitios quirúrgicos tratados con este apósito periodontal y el grupo de control. Además, las heridas tratadas con apósitos de AgNPs tenían, en términos generales, todas las características de una curación relativamente completa una semana después de la operación. Concluyeron que el apósito periodontal con AgNPs tiene efectos terapéuticos potenciales positivos y acelera la cicatrización de heridas quirúrgicas, lo cual condujo a la mejora de las consecuencias del tratamiento periodontal después de la operación.

Bhavhya *et al.* (2021) probaron un apósito quirúrgico comercial ACTICOAT de barrera antimicrobiana recubierto de AgNPs de 15 nm de diámetro y a una concentración de 70-100 ppm ampliamente usado en el Reino Unido en comparación con otro de uso convencional (*Coepack*); incluyeron un total de 11 pacientes, a los cuales sometieron a una cirugía periodontal, los pacientes tratados con el apósito que contenía nanopartículas no presentaron ningún efecto secundario y cicatrizaron mejor que aquellos en los cuales solo usaron el apósito convencional.

Ortodoncia

La formación de biopelícula alrededor de aparatos de ortodoncia fijos puede causar importantes efectos secundarios, esto incluye las lesiones de la mancha blanca (WSL) y en casos severos, la caries dental, lo cual disminuye la calidad de vida del paciente (Mei *et al.*, 2017). Aunque muchos productos dentales auxiliares, como cepillos interdetales, cepillos de dientes especializados y enjuagues bucales están disponibles comercialmente, la prevalencia de WSL sigue siendo tan alta como 72.9%. Esto se debe a que la colocación de aparatos de ortodoncia fijos dificulta severamente el cepillado de los dientes, haciendo difícil llevar a cabo los procedimientos convencionales de higiene bucal, creando áreas de bajo flujo salival que permiten la adhesión bacteriana y la formación de biopelícula (Gao *et al.*, 2014).

En años recientes se están creando adhesivos, resinas, cementos e incorporando a los alambres, microimplantes, retenedores y matrices de ortodoncia con AgNPs que tengan efecto antibacteriano sostenido y eficaz, para evitar la formación de biopelícula y caries en pacientes con ortodoncia (Sodagar *et al.*, 2016; Ali *et al.*, 2022; Lee *et al.*, 2018; Moreira *et al.*, 2015; Mhaske *et al.*, 2015). La tabla 4 presenta las investigaciones realizadas con las AgNPs en el campo de la ortodoncia.

Espinosa *et al.* (2018) prepararon AgNPs de dos tamaños 8.1 ± 3.4 y 20.1 ± 10 nm esféricas contra la adhesión de *S. mutans* en superficies de brackets y alambres, encontrando que todas las muestras de AgNPs inhibieron la adhesión de *S. mutans*, las AgNPs más pequeñas tuvieron una mejor inhibición que las más grandes concluyendo que las AgNPs utilizadas en este estudio mostraron tener buenas propiedades antimicrobianas y antiadherentes contra la bacteria *S. mutans*, determinando su alto uso potencial para el control de manchas blancas

Tabla 4. Estudios de AgNPs en ortodoncia.

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Trisián <i>et al.</i> (2023)	<i>In vitro</i>	Adhesivo de ortodoncia incorporando AgNPs AgNPs MIP+ transbond™ AgNPs Transbond™ XT+ AgNPs Prime & Bond +. Concentración: .1 mM Tamaño de partícula: 11 nm	<i>L. acidophilus</i> y <i>S. mutans</i>	No estudiada.	Se concluyó que los adhesivos ortodóncicos hidrófilos y no hidrófilos con AgNPs añadidos conservan sus propiedades mecánicas y mejoran su actividad antimicrobiana frente a cepas de interés en la formación de WSLs.
Ali <i>et al.</i> (2022)	Clínico	Enjuague bucal con AgNPs. Concentración: no reportada. Tamaño de partícula: no reportado.	Se incluyeron 42 pacientes con apiñamiento leve a moderado.	No estudiada.	El enjuague bucal con AgNPs fue más efectivo en la reducción de las lesiones de manchas blancas (WSL) que los enjuagues bucales CHX y flúor durante el tratamiento de ortodoncia.
Ahmed <i>et al.</i> (2022)		Cemento de ortodoncia anticariogénico, incorporando nanopartículas de plata recubiertas de Augmentin (AgNP). Concentración: 2.5%, 5% y 10% en peso de nanopartículas de Ag recubiertas de Augmentina en Transbond XT. Tamaño de partícula: no reportado.	<i>S. aureus</i> y <i>E. coli</i>	Se evaluó la citotoxicidad mediante la realización de un ensayo de MTT utilizando células de fibroblastos. Los resultados indican un aumento gradual en la viabilidad de las células de fibroblastos del 10%, 50% y 100%. Los resultados demuestran los efectos no tóxicos de las AgNPs, promoviendo la viabilidad y proliferación de fibroblastos.	El estudio antibacteriano contra <i>S. aureus</i> y <i>E. coli</i> mostró la potencia de las AgNPs preparadas. El compuesto experimental con 5% en peso de nanopartículas tiene una resistencia de unión al corte cercana a la resistencia de unión al corte ideal. La liberación sostenida de AgNPs le permite prevenir infecciones bacterianas, lesiones blancas y desmineralización de la superficie del diente.

Continúa ▼

Tabla 4. Estudios de AgNPs en ortodoncia (continuación).

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Sawan <i>et al.</i> (2021)	<i>In vitro</i>	Grafeno funcionalizado con un agente adhesivo a base de metacrilato modificado con AgNPs (GNP-Ag). Concentración: 0.25%, 0.5% de peso de AgNPs y adhesivo Tamaño de partícula: 100 nm	<i>Streptococcus mutans</i>	La evaluación de la citotoxicidad se realizó utilizando el ensayo MTT en líneas celulares de fibroblastos gingivales humanos (HGF). Los resultados demostraron una diferencia significativa en la viabilidad de las células HGF entre el adhesivo experimental modificado y no modificado. El adhesivo experimental que contenía 0.25 y 0.5% en peso de GNP-Ag mostró una baja citotoxicidad, con una tasa de supervivencia celular superior al 80%. Sin embargo, después de 48 h, el 0.5% en peso del adhesivo experimental GNP Ag mostró un comportamiento citotóxico considerable (< 80%).	El estudio encontró que el 0.25% en peso reveló un aumento sustancial en las propiedades antibacterianas y, por lo tanto, podría usarse para unir brackets de ortodoncia a la superficie del esmalte sin comprometer la fuerza de unión.
Lee <i>et al.</i> (2018)	<i>In vitro</i>	Resina dental híbrida con AgNPs. Concentración: 10 mM Tamaño de partícula: 20 nm	<i>Streptococcus mutans</i> (<i>S. mutans</i>) y <i>Streptococcus sobrinus</i> (<i>S. sobrinus</i>)	No estudiada.	La resina dental que contenía AgNPs mostró una potente actividad antimicrobiana contra los dos tipos de bacterias.
Sodagar <i>et al.</i> (2016)	<i>In vitro</i>	Adhesivo ortodóncico convencional que contiene AgNPs e hidroxiapatita. Concentración: AgNPs/ hidroxiapatita, al 1%, 5% y 10% Tamaño de partícula: 55 - 65 nm	<i>Streptococcus mutans</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> y <i>Streptococcus sanguinis</i>	No estudiada.	Los discos compuestos que contenían 5 y 10% de AgNPs/hidroxiapatita fueron capaces de producir zonas de inhibición del crecimiento para todos los tipos de bacterias. Los resultados de la prueba de inhibición de la biopelícula mostraron que todos los grupos de estudio redujeron el recuento de bacterias viables en comparación con el grupo de control.

Continúa ▼

Tabla 4. Estudios de AgNPs en ortodoncia (continuación).

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Degrazia et al. (2016)		Adhesivo para ortodoncia (Transbond™ XT) con AgNPs Concentración: 0.11%, 0.18% y 0.33%. Tamaño de partícula: < 150 nm	Streptococcus mutans	No estudiada.	La adición de soluciones de AgNPs al adhesivo Transbond™ XT inhibió el crecimiento de <i>S. mutans</i> .
Moreira et al. (2015)	<i>In vivo</i>	Cemento de banda para ortodoncia con AgNPs de liberación prolongada. Concentración: 0.1%, 0.5% 1% de peso. Tamaño de partícula: no reportado.	Streptococcus mutans y Lactobacillus acidophilus	La citotoxicidad se evaluó mediante el método de difusión en agar utilizando fibroblastos de ratón L929. No se observó decoloración ni lisis celular en AgNP-OBC al 0.5%.	Se desarrolló un nuevo cemento antimicrobiano para bandas de ortodoncia con propiedades mecánicas comparables a las de los controles, liberación controlada y sostenida de iones Ag ⁺ , inhibición bacteriana significativa <i>in vitro</i> y excelente biocompatibilidad.
Mhaske et al. (2015)	<i>In vitro</i>	Alambres de ortodoncia de acero inoxidable y níquel titanio (NITI) recubiertos con AgNPs. Concentración: no reportada. Tamaño de partícula: no reportado.	Lactobacillus acidophilus	No estudiada.	La modificación de la superficie de los alambres de ortodoncia con AgNPs se puede utilizar para prevenir el desarrollo de placa dental y caries dental durante el tratamiento de ortodoncia.
Espinoza et al. (2018)	<i>In vitro</i>	Solución de AgNPs Concentración: 0.01 M Tamaño de partícula: 8.1 ± 3.4 y 20.1 ± 10 nm	Streptococcus mutans	No estudiada.	Se demostró que las AgNPs utilizadas en este estudio inhiben la adhesión bacteriana y la capacidad de crecimiento de la bacteria <i>S. mutans</i> en las superficies de los brackets y diferentes tipos de alambres de ortodoncia.

Fuente: Elaboración de los autores.

(WSL) en tratamientos de ortodoncia. Gao *et al.* (2014) evaluaron la adición de AgNPs a matrices de bandas de titanio (TiO₂NT), incrustadas en las paredes de nanotubos, encontrando que matan eficazmente a *E. coli* y *S. aureus* y presentan una capacidad antibacteriana de larga duración sin mostrar toxicidad, teniendo, así, aplicaciones prometedoras en ortodoncia y ortopedia. Los adhesivos están siendo renovados al agregar agentes antimicrobianos y reducir el riesgo de presentar WSL o caries (Sodogar *et al.*, 2016; Degrazia *et al.*, 2016). Degrazia *et al.* (2016) incorporaron AgNPs a un adhesivo comercial de ortodoncia y evaluaron sus propiedades fisicoquímicas y antimicrobianas contra *S. mutans*, encontrando que al añadir las AgNPs al adhesivo se inhibe el crecimiento de *S. mutans* sin comprometer las propiedades fisicoquímicas del adhesivo.

En estudios realizados por Ali *et al.* (2022) en un ensayo clínico aleatorizado prospectivo doble ciego, compuesto por cuarenta y dos pacientes con apinamiento de leve a moderado, se demostró la eficacia de enjuagues que contienen AgNPs comerciales frente a enjuagues convencionales de clorhexidina en pacientes con ortodoncia para prevenir las manchas blancas; los pacientes se dividieron en grupos según el enjuague bucal utilizado durante el tratamiento (AgNPs, CHX o fluoruro), usaron 5 mL de las soluciones por 1 minuto 2 veces al día durante 6 meses, encontrando mejores efectos en los pacientes tratados con el enjuague que contiene AgNPs, no se reportaron efectos secundarios asociados con los enjuagues.

Implantes dentales

La perimplantitis es una enfermedad inflamatoria polimicrobiana conducente a la destrucción del tejido que sostiene el implante. Sin tratamiento, resulta en la pérdida del implante (Dhir *et al.*, 2013). La biopelícula comienza a formarse en la superficie del implante 30 minutos después de que el implante se expone en la cavidad oral. Los primeros colonizadores son predominantemente las especies de cocos, bacilos y *actinomyces* Gram positivas. La osteointegración alrededor del implante dental está influenciada en gran medida por su rugosidad de la superficie. Sin embargo, cuanto mayor es la rugosidad de la superficie, mayor es la tasa de formación de biopelícula alrededor del implante (Venugopal *et al.*, 2017).

La adición de un agente antibacteriano a los implantes dentales puede brindar la oportunidad de disminuir el porcentaje de fallas del implante debido a perimplantitis (Kranz *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2019; Nandi *et al.*, 2018; Zhong *et al.*, 2016). En una investigación realizada por Pokrowieki *et al.* (2017), se reportó haber añadido al titanio AgNPs para evaluar su efecto antibacteriano frente a bacterias aisladas en la biopelícula perimplantaria *S. mutans*, *Streptococcus mitis* (*S. mitis*), *Streptococcus oralis* (*S. oralis*), *Streptococcus sanguis* (*S. sanguis*), *P. gingivalis*, *S. aureus*, *E. coli*, y encontraron que la presencia de AgNPs proporciona actividad antibacteriana contra bacterias Gram positivas y negativas, siendo las Gram negativas las más susceptibles a

los iones de plata. Nandi *et al.* (2018) utilizaron AgNPs que depositaron electrolíticamente sobre un implante de acero para el tratamiento de osteomielitis *in situ*, sus resultados son prometedores, pues los alfileres recubiertos de plata, en dosis altas, pueden tratar eficazmente la osteomielitis, sin causar toxicidad en órganos principales como corazón, riñones e hígado; concluyen que sus hallazgos son especialmente importantes porque, aparte de la eliminación de implante o manejo de tejido muerto actualmente no hay opciones de tratamiento satisfactorias disponibles para la osteomielitis en un entorno clínico, esto concuerda con otro estudio realizado por Zhang *et al.* (2019) donde desarrollaron un andamio compuesto de seda y AgNPs cargado con gentamicina para tratar osteomielitis crónica inducida por *S. aureus* resistente a meticilina (MRSA), sus resultados mostraron inhibición efectiva del crecimiento de la bacteria MRSA, confirmando un futuro prometedor en el tratamiento de la osteomielitis crónica. La tabla 5 muestra las investigaciones con las AgNPs en los implantes dentales.

Materiales dentales

Los materiales dentales son parte importante en la actividad diaria de la estomatología, pero siempre se requiere su mejoramiento. Debido a los avances tecnológicos y bioquímicos, se puede contar con una nueva generación de materiales con mejores propiedades físicas, químicas y biológicas (Mackevica *et al.*, 2017).

Las AgNPs se han incorporado en biomateriales para prevenir o reducir la formación de biopelícula, en parte a que existe una mayor relación superficie/volumen y al pequeño tamaño de partícula, poseen una excelente acción antimicrobiana sin afectar las propiedades mecánicas del material. Esta propiedad única de las AgNPs hace que estos materiales sean rellenos de elección en diferentes biomateriales, por lo cual tienen un papel vital en la mejora de las propiedades (Priyadarshini *et al.*, 2017).

Estudios recientes se están enfocando en revolucionar algunos materiales como recubrimientos, resinas, apósitos quirúrgicos, cementos, agregado de trióxido mineral (MTA), desinfectantes, sustitutos de hueso, materiales de impresión, pastas dentales, agentes anticariostáticos, entre otros, incorporando AgNPs para mejorar sus características y tener o potenciar el efecto antibacteriano contra las bacterias anaerobias Gram negativas y Gram positivas (Mendes *et al.*, 2017; Fatemeh *et al.*, 2017; Zheng *et al.*, 2018; Sacrpelli *et al.*, 2017; *et al.*, 2018; Besinis *et al.*, 2014; Ginjupalli *et al.*, 2016).

Lee *et al.* (2018) desarrollaron una resina híbrida con AgNPs contra *S. mutans* y *Streptococcus sobrinus* (*S. sobrinus*) para combatir la enfermedad periodontal y la caries. La resina mostró una potente actividad antimicrobiana contra las dos bacterias. Un estudio realizado en el año 2015 creó una resina compuesta con nanocables de hidroxiapatita cargados de AgNPs, además de

Tabla 5. Estudios de AgNPs en implantes dentales.

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Bee et al. (2021)	<i>In vitro</i>	Nanocompuesto de hidroxiapatita decorado con AgNPs (HAP/AgNPs). Concentración: 1%, 3% y 5% en peso Tamaño de partícula: no reportado.	<i>S. aureus</i>	No estudiada.	Los nanocompuestos de HAP/AgNPs sintetizados demostraron una fuerte actividad antibacteriana contra la bacteria <i>Staphylococcus aureus</i> , donde la eficacia antibacteriana depende de la cantidad y el tamaño de las AgNPs depositadas. El nanocompuesto HAP/AgNPs-3 exhibe las propiedades antibacterianas y bioactivas óptimas que podrían ser prometedoras para ser utilizadas como material de implante para aplicaciones dentales y ortopédicas.
Zhang et al. (2019)	<i>In vivo</i>	Estructuras compuestas de seda y AgNPs cargadas de gentamicina Concentración: 0.1%, 0.5% y 1% Tamaño de partícula: no reportado.	Ratas Wistar con osteomielitis, inducido por <i>Staphylococcus aureus</i> resistente a la meticilina (SARM).	Ensayo de recuento celular kit-8 y la actividad ALP/Runx2 sobre la línea celular de osteoblastos MC-3T3. La tasa de supervivencia de las células se mantuvo por encima del 90% cuando se cultivaron utilizando andamios empapados en medio de cultivo durante 10 días, lo cual confirma la baja citotoxicidad celular de los andamios.	Los andamios compuestos SF-AgNPs resultantes mostraron una buena estructura de poros tridimensionales, una distribución uniforme de AgNPs, una biocompatibilidad favorable con los osteoblastos y propiedades antibacterianas eficientes contra el SARM.
Kranz et al. (2019)	<i>In vivo</i>	Recubrimiento de titanio oxidado químicamente por plasma funcionalizado con nanopartículas de plata (TiOB SiOx Ag) Concentración: 5% Tamaño de partícula: no reportado.	<i>Staphylococcus aureus</i>	Se determinó la viabilidad de las células MC3T3-E1 (DSMZ ACC 210) después del cultivo directo sobre las superficies de TiOB funcionalizadas durante 2 y 4 días. Después de 4 días de cultivo, se observó un aumento significativo de células viables para TiOB SiOx Ag y también para TiOB Zn, con células sanas cultivadas en toda la superficie.	Todas las superficies antibacterianas autoactivas de TiOB observadas en el presente estudio demostraron un efecto antibacteriano significativo sobre el <i>Staphylococcus aureus</i> con diferentes propiedades biocompatibles. Dado que la gentamicina es capaz de eluir a TiOB gta, es posible inhibir el crecimiento bacteriano en la región perimplantaria, mientras que el efecto antibacteriano de TiOB SiOx Ag y TiOB Zn se restringe solo a la superficie.

Continúa ▼

Tabla 5. Estudios de AgNPs en implantes dentales (continuación).

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Nandi et al. (2018)	<i>In vivo</i>	Nanopartículas de plata fuertemente adherentes depositadas electrolíticamente sobre implantes de acero inoxidable durante 45 segundos (dosis baja) y 2 minutos (dosis alta), en una solución de nitrato de plata 0.1 M como electrolito Tamaño de partícula: nanométrico a micrométrico.	Conejos con osteomielitis, inducido con <i>Staphylococcus aureus</i>	El estudio toxicológico de las concentraciones de plata en los principales órganos como el corazón, el riñón y el hígado se llevó a cabo el día 42. Todas las concentraciones estuvieron por debajo de los niveles de toxicidad recomendados para la plata. En el momento del sacrificio, los animales estaban sanos y en forma, sin ningún efecto secundario indeseable.	Los implantes depositados en plata, especialmente en dosis altas, ofrecieron un resultado prometededor en términos de erradicación de la infección en el modelo de osteomielitis de conejo sin ninguna toxicidad en órganos principales como el corazón, el riñón y el hígado a los 21 y 42 días.
Pokrowiecki et al. (2017)	<i>In vitro</i>	Implantes de titanio dopados con AgNPs. Concentración 0.1 M Tamaño de partícula: no reportado	<i>Streptococcus mutans</i> , <i>Streptococcus salivarius</i> , <i>Streptococcus oralis</i> , <i>Streptococcus mitis</i> , <i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> y <i>P. gingivalis</i> .	Bioensayo bioluminiscente de citotoxicidad no destructivo ToxiLight Assay Kit, usando osteoblastos humanos naturales. Después de la exposición de osteoblastos humanos a 0.1 ppm de iones de plata, se observó una disminución significativa en la viabilidad celular mediante el uso de ToxiLight™ BioAssay Kit después de 72 horas. Los discos de titanio que contenían Ag fueron significativamente citotóxicos.	La incorporación de AgNPs puede influir en las propiedades superficiales que son importantes en el proceso de cicatrización del implante. La presencia de AgNPs en el titanio proporciona una actividad antibacteriana relacionada con las bacterias implicadas en la perimplantitis.
Zhong et al. (2016)	<i>In vitro</i>	Recubrimiento de AgNPs para implantes dentales. Solución de AgNPs con quitosano y ác. ascórbico como agente reductor. Concentraciones: 10 mM, 20 mM, 50 mM, 100 mM. Tamaño de partícula: 30 nm	<i>Staphylococcus aureus</i>	Ensayo del kit de recuento de células-8 (CCK-8, Dojindo, Japón). Las muestras de CS/Ag mostraron citotoxicidad con el aumento de la cantidad de Ag incorporada.	Los recubrimientos multicapa cargados con AgNPs pueden matar las bacterias planctónicas y adherentes al 100% durante los primeros 4 días. La eficacia antibacteriana de las muestras contra bacterias planctónicas y adherentes alcanzó entre el 65% y el 90% después de 14 días.

Fuente: Elaboración de los autores.

investigar el efecto antibacteriano contra *S. mutans* también evaluaron las características físicas y químicas de la resina y encontraron que las resinas compuestas resultantes demostraron una alta actividad antibacteriana con una baja cantidad de adición de AgNPs, no mostró citotoxicidad significativa y se mejoraron las propiedades de la resina (Lee *et al.*, 2016).

Las AgNPs también han sido probadas contra hongos como *Candida albicans* (Pena Mirle *et al.*, 2021; Serrano-Díaz *et al.*, 2023), en el estudio realizado por Serrano-Díaz *et al.*, se biosintetizaron AgNPs utilizando hojas de *Pelargonium hortorum* para probar su efecto antifúngico, citotoxicidad y expresión genética global en *Candida* a través de perfiles transcriptómicos; las AgNPs formadas tienen morfología esférica con un tamaño aproximado de 38 nm, alta estabilidad y exhibieron eficacia antifúngica, los resultados generales del perfil ómico muestran que la expresión de genes está regulada al alza y a la baja, lo cual es de gran importancia para la virulencia, la adhesión y la actividad biológica de *C. albicans* mediante el tratamiento con AgNPs.

Diversas investigaciones han demostrado que el efecto antibacteriano de las AgNPs es proporcional a la concentración y tamaño, a mayor concentración y menor tamaño, mayor efecto (Gao *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2018; Shen *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2017; Jonaidi-Jafari *et al.*, 2016; Massa *et al.*, 2014). La versatilidad de las nanopartículas se deriva de su capacidad de modificación al aprovechar las actividades antimicrobianas de las AgNPs en una variedad de formas y actividades de proliferación celular de otros materiales, se pueden desarrollar sistemas de ayuda para la reparación de heridas con mayor eficacia sin comprometer las propiedades de estos. Nam *et al.* (2017) incorporaron AgNPs a un sustituto de hueso (cemento Portland) y encontraron que esta adición promovió la actividad antibacteriana y favoreció las propiedades biomecánicas del cemento. Lee *et al.* (2016) diseñaron un apósito oral biocompatible para heridas como nanofibra co-electrohilada que contiene AgNPs para mejorar la actividad antibacteriana dirigida contra bacterias periodontales (*P. gingivalis*, *P. intermedia*, *A. a.* el apósito mostró una excelente actividad antibacteriana, todas las pruebas exhibieron al apósito para heridas orales útil para prevenir una infección bacteriana para encía y tejidos periodontales.

Paiva *et al.* (2017) añadieron AgNPs a un ionómero de vidrio convencional contra *E. coli* y *S. mutans*, el ionómero presentó una mejor resistencia a la compresión, buena difusión de iones Ag^+ y tuvo un mayor efecto antibacteriano para *E. coli* manifestando parámetros adecuados para uso clínico. Afkhami *et al.* (2015) usaron AgNPs como vehículo para medicamento intraconductos de hidróxido de calcio, se probó su efecto contra *E. faecalis* y se encontró que las AgNPs fueron un vehículo adecuado de hidróxido de calcio para evitar la formación de biopelícula de *E. faecalis* en la dentina humana. La tabla 6 presenta las investigaciones con las AgNPs y materiales dentales.

Tabla 6. Estudios de AgNPs en materiales dentales.

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Serrano-Díaz et al. (2023)	<i>In vitro</i>	Solución de AgNPs con extracto de hoja de <i>Pelargonium hortorum</i> . Concentración: 25 mM Tamaño de partícula: 38 nm	<i>Candida albicans</i>	Ensayo colorimétrico MTT con fibroblastos gingivales humanos (FGH). Los resultados muestran un efecto citotóxico de forma dosis dependiente. Se observó un efecto de hormesis con casi todas las concentraciones de más del 50% de viabilidad celular.	La síntesis de AgNPs con extracto de hoja de <i>Pelargonium</i> mostró que las AgNPs formadas tienen morfología esférica con un tamaño aproximado de 38 nm y eficacia antifúngica como una posible solución al problema de la resistencia a diversos agentes terapéuticos. Los resultados generales del perfil ómico muestran que la expresión de genes está regulada al alza y a la baja, lo cual es de gran importancia para la virulencia, la adhesión y la actividad biológica de <i>C. albicans</i> mediante el tratamiento con AgNP.
Pena-Mirle et al. (2021)	<i>In vitro</i>	Solución de AgNPs con polietilimina (PE) como agente reductor y estabilizante. Concentración: 10 mM Tamaño de partícula: 3 - 35 nm	Ratas Wistar con <i>Candida albicans</i> , <i>Candida glabrata</i> , <i>Candida tropicalis</i> , <i>Candida parapsilosis</i>	Ensayo colorimétrico MTT con fibroblastos gingivales humanos (FGH). Los datos determinaron que las NP mostraron > 50% de viabilidad celular incluso después de 72 y 96 h.	La eficacia de la actividad antimicrobiana fue inversamente proporcional al tamaño de las partículas. Se encontró que las nanopartículas más pequeñas inhiben la formación de biopelículas de <i>Candida</i> en catéteres de sílicona y demostraron ser un agente anticandidaico potencial y eficaz contra los aislados estándar y clínicos de <i>Candida</i> .
Jafari et al. (2021)	<i>In vitro</i>	Impresiones hidrocoloides irreversibles con AgNPs (Nano Nasb Pars, Tehran, Iran). Concentración: 0.25%, 0.50% y 1% de peso/volumen	<i>Escherichia coli</i> , <i>Streptococcus mutans</i> y <i>Candida albicans</i>	No estudiada.	La eficiencia de la desinfección aumentó dramáticamente al aumentar la concentración de AgNPs, la relación polvo-agua y el tiempo de mezcla.
Nunes et al. (2019)	<i>In vitro</i>	Resina acrílica con AgNPs y metacrilato de metilo (PMMA). Concentración: 0.05% Tamaño de partícula: 5.8 nm	<i>Candida glabrata</i>	No estudiada.	Entre los nanocompuestos, el PMMA con 0.05% de AgNPs mostró las propiedades más prometedoras para aplicaciones médicas y dentales, pues exhibió un rendimiento mecánico adecuado para prótesis dentales, redujo efectivamente la actividad metabólica de las biopelículas de <i>C. glabrata</i> así como la inhibición y adhesión de las biopelículas.

Continúa ▼

Tabla 6. Estudios de AgNPs en materiales dentales (continuación).

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Scarpelli et al. (2017)	<i>In vitro</i>	Agente cariostático experimental con AgNPs (Ag Nano) Concentración: 0.016% Tamaño de partícula: no reportado.	<i>Streptococcus mutans</i> , <i>Escherichia coli</i> y <i>Enterococcus faecalis</i>	No estudiada.	Ag-Nano remineralizó el esmalte dental de dientes deciduos y mostró actividad bactericida contra <i>S. mutans</i> , <i>E. faecalis</i> y <i>E. coli</i> .
Nam et al. (2017)	<i>In vitro</i>	Cemento Portland impregnado con AgNPs (CPAgNPs). Concentración: 1%, 3% y 5% en peso Tamaño de partícula: 50 y 80 nm	<i>S. mutans</i> y <i>Streptococcus sobrinus</i>	Ensayo colorimétrico MTT con fibroblastos gingivales humanos. El SPNC no reveló efectos citotóxicos para el HGF según la norma ISO 10993 (viabilidad celular > 70%).	La adición de AgNPs promovió la actividad antibacteriana y favoreció las propiedades biomecánicas del cemento Portland; por lo tanto, CPAgNPs podría ser un candidato como biomaterial dental futurista.
Paiva et al. (2017)	<i>In vitro</i>	Cemento de ionómero de vidrio con AgNPs (Nano-Ag-GIC). Concentración: 0.05%, 0.10% y 0.50% en peso. Tamaño de partícula: 6 nm	<i>Streptococcus mutans</i> y <i>Escherichia coli</i>	No estudiada.	Se puede afirmar que el nuevo NanoAg-GIC desarrollado en este trabajo demostró tener un efecto antibacteriano por difusión, lo cual sugiere la disolución oxidativa de los iones de plata de la matriz del cemento, y lleva a suponer que son eficientes para detener la caries y prevenir el desarrollo de biopelículas orales en su superficie.
Shen et al. (2017)	<i>In vitro</i>	Recubrimiento superficial de aleaciones dentales con AgNPs. Concentración: 1.06% en peso Tamaño de partícula: < 100 nm	<i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Streptococcus mutans</i>	Se utilizó un ensayo de bromuro de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difenil tetrazolol (MTT) para evaluar la citotoxicidad de las aleaciones cuando estaban en contacto con células precursoras osteogénicas (MC3T3-E1) de ratones y células madre mesenquimales (BMSC) de ratas. Los resultados demostraron que las aleaciones de cromo cobalto y el titanio puro tenían citotoxicidad para MC3T3-E1 y BMSC y que la incorporación de AgNPs podría reducir esta citotoxicidad.	Se encontró que las concentraciones de AgNPs adoptadas en este estudio no tenían acción antibacteriana contra <i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Streptococcus mutans</i> .

Continúa ▼

Tabla 6. Estudios de AgNPs en materiales dentales (continuación).

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Ginjupalli et al. (2016)	<i>In vitro</i>	Materiales de impresión hidrocóloides irreversibles con AgNPs (Nano Labs). Concentraciones: 0.5%, 1%, 2% y 5% en peso Tamaño de partícula: 80 a 100 nm	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Candida albicans</i>	No estudiada.	La incorporación de AgNPs impartió una actividad antimicrobiana significativa a los materiales de impresión hidrocóloides irreversibles probados sin afectar negativamente sus propiedades.
Lee et al. (2016)	<i>In vitro</i>	Aposito para heridas orales nanofibroso dual híbrido incrustado de AgNPs. Concentración: 3.8% en peso Tamaño de partícula: 8 – 22 nm	<i>P. gingivalis</i> , <i>P. intermedia</i> y <i>A. actinomycetemcomitans</i>	No estudiada.	Las AgNPs no solo se sintetizaron perfectamente sin un agente reductor, sino que también se fabricaron nanofibras electrohiladas (EN) que contienen AgNPs. Se demostró claramente la presencia de AgNPs dentro de la cadena de fibra. En la prueba antibacteriana, el aposito para heridas orales desarrollado mostró una excelente actividad antibacteriana a medida que aumentaba el contenido de AgNPs.
Jonaidi-jafari et al. (2016)	<i>In vitro</i>	Agregado de Tiroxido de Mineral (MTA) con AgNPs Cemento experimental (CEM) con AgNPs. Concentración: 100 ppm, 200 ppm Tamaño de partícula: 70 nm	<i>Escherichia</i> , <i>Actinomyces</i> y <i>Streptococcus mutans</i> , <i>Candida albicans</i> y <i>Enterococcus faecalis</i>	No estudiada.	La mezcla de MTA y CEM con diferentes concentraciones de AgNPs aumentó significativamente la actividad antibacteriana.
Besinis et al. (2014)	<i>In vitro</i>	Nanorrecubrimiento de plata directamente sobre la dentina AgNPs (silver nanopowder, Sigma-Aldrich). Concentración: 2.8 g L ⁻¹ Tamaño de partícula: 56.8 ± 18.6	<i>Streptococcus mutans</i>	No estudiada.	Las AgNPs pueden ser una alternativa viable a la clorhexidina, protegiendo de la placa dental y la caries secundaria cuando se aplican como recubrimiento de dentina, al tiempo que pueden proporcionar una plataforma para crear superficies antibiópeliculas en dispositivos médicos y otras aplicaciones biomédicas.

Continúa ▼

Tabla 6. Estudios de AgNPs en materiales dentales (continuación).

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs, concentración y tamaño	Efecto antibacteriano o sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Massa et al. (2014)	<i>In vitro</i>	Recubrimientos de sílice nanoporosa dopada con AgNPs se prepararon sobre una superficie de titanio, utilizando un método combinado de sol-gel y autoensamblaje inducido por evaporación. Concentración: 6.1% en peso Tamaño de partícula: 8 nm	<i>Aggregatibacter actinomycetemcomitans</i>	No estudiada.	La actividad antibacteriana a largo plazo exhibida por la superficie nanoestructurada de titanio AgNPs/NSC contra <i>A. actinomycetemcomitans</i> sugiere que este tipo de modificación de la superficie a nano escala es una estrategia promisorio para controlar las infecciones asociadas con la rehabilitación de implantes dentales.
Gao et al. (2014)	<i>In vitro</i>	Nanotubos de titanio con nanopartículas de óxido de plata (NT-Ag2O). Concentración: 0.38% a 1.62% en peso Tamaño de partícula: 5 y 20 nm	<i>S. aureus</i> y <i>E. coli</i>	La citotoxicidad de las muestras se analizó mediante el kit de viabilidad / citotoxicidad LIVE / DEAD para células de mamíferos (Invitrogen). A medida que aumenta el tiempo de cultivo, el número de células aumenta linealmente, indicando que las matrices de NT-Ag2O casi no tienen citotoxicidad y apoyan la proliferación celular.	Las matrices NT-Ag2O pueden matar eficazmente <i>Escherichia coli</i> y <i>Staphylococcus aureus</i> , incluso después de la inmersión durante 28 días, demostrando la capacidad antibacteriana de larga duración. Además, las matrices NT-Ag2O no tienen una influencia apreciable en la viabilidad, proliferación y diferenciación osteoblastica en comparación con las matrices NT de TiO2 libres de Ag. La incorporación de AgNPs muestra, incluso, algunos efectos favorables en la promoción de la propagación celular.

Fuente: Elaboración de los autores.

Nanopartículas de plata AgNPs y COVID-19 en odontología

Investigaciones actuales han probado la eficacia de las AgNPs contra la infección causada por el virus SARS-CoV-2, las AgNPs se probaron *in vitro* e *in vivo*. En cultivos celulares han demostrado tener una acción inhibitoria en la infección por SARS-CoV-2. Almanza *et al.* (2021) evaluaron la acción del enjuague bucal y nasal ARGOVIT®, que contiene AgNPs a una concentración de 0.6 mg/mL, para prevenir la infección por SARS-CoV-2 en trabajadores de la salud del Hospital General de Tijuana, México, para lo cual incluyeron 231 participantes. El grupo “problema” realizó enjuagues bucales y nasales con la solución de AgNPs 3 veces al día durante 9 semanas, el grupo “control” realizó enjuagues bucales y nasales de manera convencional. La infección por SARS-CoV-2 fue significativamente menor en el grupo “problema” (2 participantes de 114, 1.8%) en comparación con el grupo “control” (36 participantes de 117, 28.2%), con un 84.8% de eficiencia, no se reportaron efectos adversos asociados con la solución con AgNPs (Almanza *et al.*, 2021). La tabla 7 muestra detalles de esta investigación.

Toxicidad de las AgNPs

Respecto de la toxicidad de las AgNPs, se han realizado diversos estudios *in vitro* e *in vivo*. Maneewattanapinyo *et al.* (2011) llevaron a cabo pruebas de toxicidad oral aguda, irritación ocular, corrosión y toxicidad dérmica, administraron vía oral AgNPs en una dosis limitada de 5,000 mg/Kg en cobayos, encontrando que no produjo ni mortalidad ni signos de toxicidad aguda durante todo el periodo de observación, concluyen que las AgNPs coloidales podrían ser relativamente seguras cuando se administran oralmente, en los ojos y en la piel de los modelos animales durante cortos lapsos, concordando con otros estudios realizados con datos histopatológicos, en donde no se encontraron cambios considerables en los pulmones, hígado, cavidad nasal u otros órganos con respecto a AgNPs con tamaños promedio de 15 a 30 nm y en concentraciones de 0.5 a 381 g/m³ (Kim *et al.*, 2011; Ji *et al.*, 2007; Hyun *et al.*, 2008; Gao *et al.*, 2014).

Investigaciones desarrolladas sobre toxicidad en líneas celulares de osteoblastos con un compuesto de las nanopartículas de Ag₂O cristalizadas con diámetros que van de 5 a 20 nm incrustadas en la pared amorfa de un nanotubo de titanio con liberación controlada de plata no mostraron citotoxicidad sobre osteoblastos (Ai *et al.*, 2017); una resina con AgNPs y liberación de Ag a una concentración de 0.1g/L reportó toxicidad insignificante en líneas celulares de fibroblastos L929 (Korura *et al.*, 2010). Kokura *et al.* (2010) afirman que las AgNPs en concentraciones de 0.002 a 0.02 mg/mL no tuvieron efecto sobre los queratinocitos humanos.

En cultivos de líneas celulares, las concentraciones letales oscilan entre 10⁰ y 10² µg/mL de plata. La mayoría de los trabajos reportan una DL₁₀₀ cercana a 10¹ µg/mL (Shahare *et al.*, 2013).

Tabla 7. Estudios de AgNPs en materiales dentales.

Autores y año	Tipo de estudio	Tipo de AgNPs y tamaño de partícula	Sitio de estudio	Estudios de toxicidad	Resultados
Almanza <i>et al.</i> (2021)	Clínico In vitro	Enjuague bucal y nasal ARGOVIT®, que contiene AgNPs Concentración: 0.6 mg/mL	231 trabajadores de salud del Hospital General de Tijuana	No reportado.	Este estudio prospectivo aleatorizado demuestra que el enjuague bucal y el enjuague nasal con AgNP son efectivos para disminuir la tasa de infección por SARS-CoV-2, no solo para el personal sanitario, sino también como protección adicional para la población en general.

Fuente: Elaboración de los autores.

Diversos estudios en ratas revelaron los siguientes efectos a las dosis altas de AgNPs: pérdida de peso a dosis de 10 mg/Kg (Farahani *et al.*, 2018), trastornos hepáticos a dosis > 300 mg/Kg (Kim *et al.*, 2008) y estrés oxidativo generado a dosis de NP > 1000 mg/Kg (Adeyemi *et al.*, 2014).

Conclusiones

Las nanopartículas de plata poseen características genuinas e innovadoras y un gran potencial para la creación y mejora de agentes antimicrobianos de uso odontológico, su versatilidad hace que se puedan usar como agentes irrigantes, dispositivos de recubrimientos, apósitos quirúrgicos, cementos, resinas, MTA, adhesivos, se combinan sin modificar las características de los materiales y las mejora, la mayoría de los estudios inspeccionados en la revisión son *in vivo* o *in vitro*, muy pocos han tenido aplicación clínica y la mayoría demostraron poseer efectos antibacterianos efectivos frente a bacterias orales tan eficientes como la clorhexidina e incluso se potenciaron estos efectos cuando se combinaron con esta o con algún antibiótico.

La toxicidad de las nanopartículas de plata depende de la dosis, tamaño, forma, superficie y estabilidad, la nanotoxicología es un área que se encuentra en desarrollo y es importante seguir con investigaciones que amplíen la información sobre el uso de las nanopartículas de plata para poder aplicarlas adecuadamente y de una manera segura.

Referencias

- Abbaszadegan, A., Nabavizadeh, M., Gholami, A., Aleyasin, Z. S., Dorostkar, S., Saliminasab, M., Ghasemi, Y., Hemmateenejad, B., Sharghi, H. (2015). Positively charged imidazolium-based ionic liquid-protected silver nanoparticles: a promising disinfectant in root canal treatment. *International Endodontic Journal*, 48(8): 790-800. <https://doi.org/10.1111/iej.12377>.
- Abdou, S. A., Mohamed, A. I., Aly, Y. (2023). Cytotoxicity evaluation of three different types of intracanal medications. *Journal of International Oral Health*, 15(4): 384-390. https://doi.uam.elogim.com/10.4103/jioh.jioh_50_23.
- Adeyemi, O., Faniyan T. (2014). Antioxidant status of rats administered silver nanoparticles orally. *Journal of Taibah University Medical Science*, 9: 182-186. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2014.03.002>.
- Afkhami, F., Akbari, S., Chiniforush, N. (2017). *Enterococcus faecalis* elimination in root canals using silver nanoparticles, photodynamic therapy, diode laser, or laser-activated nanoparticles: an *in vitro* study. *Journal of Endodontics*, 43(2): 279-282. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.08.029>.
- Afkhami, F., Pourhashemi, S. J., Sadegh, M., Salehi, Y., Fard, M. J. (2015). Antibiofilm efficacy of silver nanoparticles as a vehicle for calcium hydroxide medicament against *Enterococcus faecalis*. *Journal of Dentistry*, 43(12): 1573-1579. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.08.012>.

- Ahmed, A., Muhammad, N., Ali, A., Mutahir, Z., Khan, A. S., Sharif, F., Shah, A. T., Haq, Z. U., Liaqat, S., Khan, M. A. (2022). Effect of augmentin-coated silver nanoparticles on biological and mechanical properties of orthodontic bracket cement. *Materials Technology*, 37(14): 2983-2994. <https://doi.uam.elogim.com/10.1080/10667857.2022.2103612>.
- Ahmed, O. A. K., Sibuyi, N. R. S., Fadaka, A. O., Maboza, E., Olivier, A., Madiehe, A. M., Meyer, M., Geerts, G. (2023). Prospects of using gum arabic silver nanoparticles in toothpaste to prevent dental caries. *Pharmaceutics*, 15(3): 871. <https://doi.uam.elogim.com/10.3390/pharmaceutics15030871>.
- Ai, M., Du, Z., Zhu, S., Geng, H., Zhang, X., Cai, Q., Yang, X. (2017). Composite resin reinforced with silver nanoparticles-laden hydroxyapatite nanowires for dental application. *Dental Materials*, 33(1): 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.09.038>.
- Al, N., Zuhair, A., Ettihad, C., John R. (2020). Effectiveness of a novel nano-silver fluoride with green tea extract compared with silver diamine fluoride: a randomized, controlled, non-inferiority trial. *International Journal of Dentistry and Oral Science*, 7(6): 753-761.
- Alexander J. W. (2009). History of the medical use of silver. *Surgical Infections*, 10(3): 289-292. <https://doi.org/10.1089/sur.2008.9941>.
- Ali, A., Ismail, H., Amin, K. (2022). Effect of nanosilver mouthwash on prevention of white spot lesions in patients undergoing fixed orthodontic treatment a randomized double-blind clinical trial. *Journal of Dental Sciences*, 17(1): 249-255. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2021.03.016>.
- Almanza-Reyes, H., Moreno, S., Plascencia-López, I., Alvarado-Vera, M., Patrón-Romero, L., Borrego, B., Reyes-Escamilla, A., Valencia-Manzo, D., Brun, A., Pestryakov, A., Bogdanchikova, N. (2021). Evaluation of silver nanoparticles for the prevention of SARS-CoV-2 infection in health workers: *in vitro* and *in vivo*. *PLoS One*, 16(8): e0256401. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256401>.
- Arif, W., Rana, N. F., Saleem, I., Tanweer, T., Khan, M. J., Alshareef, S. A., Sheikh, H. M., Alaryani, F. S., AL-Kattan, M. O., Alatawi, H. A., Menaa, F., Nadeem, A. Y. (2022). Antibacterial activity of dental composite with ciprofloxacin loaded silver nanoparticles. *Molecules*, 27(21): 7182. <https://doi.uam.elogim.com/10.3390/molecules27217182>.
- Aziz, S. G., Aziz, S. G., Akbarzadeh, A. (2017). Advances in silver nanotechnology: an update on biomedical applications and future perspectives. *Drug Research*, 67(4): 198-203. <https://doi.org/10.1055/s-0042-112810>.
- Bahador, A., Pourakbari, B., Bolhari, B., Hashemi, F. B. (2015). *In vitro* evaluation of the antimicrobial activity of nanosilver-mineral trioxide aggregate against frequent anaerobic oral pathogens by a membrane-enclosed immersion test. *Biomedical Journal*, 38(1): 77-83. <https://doi.org/10.4103/2319-4170.132901>.
- Barillo, D. J., Marx, D. E. (2014). Silver in medicine: a brief history BC 335 to present. *Burns: Journal of the International Society for Burn Injuries*, 40(1): S3-S8. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2014.09.009>.
- Barkat, M. A., Harshita, Beg, S., Naim, M. J., Potttoo, F. H., Singh, S. P., Ahmad, F. J.

- (2018). Current progress in synthesis, characterization and applications of silver nanoparticles: precepts and prospects. *Recent Patents on Anti-infective Drug Discovery*, 13(1): 53-69. <https://doi.org/10.2174/1574891X12666171006102833>.
- Bee, S.-L., Bustami, Y., Ul-Hamid, A., Lim, K., Abdul Hamid, Z. A. (2021). Synthesis of silver nanoparticle-decorated hydroxyapatite nanocomposite with combined bio-activity and antibacterial properties. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 32(9): 1-12. <https://doi.uam.elogim.com/10.1007/s10856-021-06590-y>.
- Besinis, A., De Peralta, T., Handy, R. D. (2014). Inhibition of biofilm formation and antibacterial properties of a silver nano-coating on human dentine. *Nanotoxicology*, 8(7): 745-754. <https://doi.org/10.3109/17435390.2013.825343>.
- Bhavya, B., Ibrahim, F., Safiya, F. (2021). Effect of silver nanoparticle membrane on wound healing and patient satisfaction following flap surgery. *International Journal of Applied Dental Science*, 7(2): 155-60. <https://doi.org/10.22271/oral.2021.v7.i2c.1202>.
- Celikten, B., Amasya, G., Oncu, A., Koohnavard, M., Saklar, F. (2022). Effects of chitosan-containing silver nanoparticles or chlorhexidine as the final irrigant on the bond strength of resin-based root canal sealers. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 16(2): 118-122. <https://doi.uam.elogim.com/10.34172/joddd.2022.020>.
- Chávez-Andrade, G. M., Tanomaru-Filho, M., Rodrigues, E. M., Gomes-Cornélio, A. L., Faria, G., Bernardi, M. I. B., Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2017). Cytotoxicity, genotoxicity and antibacterial activity of poly(vinyl alcohol)-coated silver nanoparticles and farnesol as irrigating solutions. *Archives of Oral Biology*, 84: 89-93. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2017.09.028>.
- Chittrarasu, M., Ahamed, A., Ravi, V. (2021). Antimicrobial efficacy of green synthesis of silver nanoparticles against cariogenic pathogens – An *in vitro* study. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 13: 1188-1192. https://doi.uam.elogim.com/10.4103/jpbs.jpbs_338_21.
- Chladek, G., Mertas, A., Krawczyk, C., Stencel, R., Jabłońska-Stencel, E. (2016) The influence of silver nanoparticles introduced into RTV-silicone matrix on the activity against *Streptococcus mutans*. *Archives of Material Science and Engineering*, 78: 59-65. https://www.researchgate.net/publication/311878669_The_influence_of_silver_nanoparticles_introduced_into_RTV-silicone_matrix_on_the_activity_against_Streptococcus_mutans.
- De Matteis, V., Cascione, M., Toma, C. C., Leporatti, S. (2018). Silver nanoparticles: synthetic routes, *in vitro* toxicity and theranostic applications for cancer disease. *Nanomaterials*, 8(5): 319. Basilea, Suiza. <https://doi.org/10.3390/nano8050319>.
- Degrazia, F. W., Leitune, V. C., Garcia, I. M., Arthur, R. A., Samuel, S. M., Collares, F. M. (2016). Effect of silver nanoparticles on the physicochemical and antimicrobial properties of an orthodontic adhesive. *Journal of Applied Oral Science*, 24(4): 404-410. <https://doi.org/10.1590/1678-775720160154>.
- Dhir S. (2013). Biofilm and dental implant: the microbial link. *Journal of Indian Society of Periodontology*, 17(1): 5-11. <https://doi.org/10.4103/0972-124X.107466>.
- Do Nascimento, C., Paulo, D. F., Pita, M. S., Pedrazzi, V., de Albuquerque Junior, R. F.

- (2015). Microbial diversity of the supra and subgingival biofilm of healthy individuals after brushing with chlorhexidine or silver coated toothbrush bristles. *Canadian Journal of Microbiology*, 61(2): 112-123. <https://doi.org/10.1139/cjm-2014-0565>.
- Donghyun, L., Sang, L., Ji-Hoi, M., Joo, K., Dong, H., Jae, B., Ho-Nam, L., Keun, K. (2018). Preparation of antibacterial chitosan membranes containing silver nanoparticles for dental barrier membrane applications. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 66(2018): 196-202. <https://doi.uam.elogim.com/10.1016/j.jiec.2018.05.030>.
- Dos Santos, C. A., Seckler, M. M., Ingle, A. P., Gupta, I., Galdiero, S., Galdiero, M., Gade, A. y Rai, M. (2014). Silver nanoparticles: therapeutical uses, toxicity, and safety issues. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 103(7): 1931-1944. <https://doi.org/10.1002/jps.24001>.
- Dos Santos, V., Gadelha, A., Pelagio, M., Rodríguez, J., Araújo, J., Vilela, M., Freire, H., Galembeck, A., Rosenblatt A. (2017). Antimicrobial activity of silver nanoparticle colloids of different sizes and shapes against *Streptococcus mutans*. *Research on Chemical Intermediates*, 43(10): 5889-99. <https://doi.org/10.1007/s11164-017-2969-5>.
- Ebrahiminezhad, A., Raee, M. J., Manafi, Z., Sotoodeh Jahromi, A., Ghasemi, Y. (2016). Ancient and novel forms of silver in medicine and biomedicine. *Journal of Advanced Medical Sciences and Applied Technologies*, 2(1): 122-128. <https://doi.org/10.18869/nrip.jamsat.2.1.122>.
- Elgamily, H. M., El-Sayed, H. S., Abdelnabi, A. (2018). The antibacterial effect of two cavity disinfectants against one of cariogenic pathogen: an *in vitro* comparative study. *Contemporary Clinical Dentistry*, 9(3): 457-462. https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_308_18.
- Emmanuel, R., Palanisamy, S., Chen, S. M., Chelladurai, K., Padmavathy, S., Saravanan, M., Prakash, P., Ajmal Ali, M., Al-Hemaid, F. M. (2015). Antimicrobial efficacy of green synthesized drug blended silver nanoparticles against dental caries and periodontal disease-causing microorganisms. *Materials Science & Engineering. C, Materials for Biological Applications*, 56: 374-379. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.06.033>.
- Ertem, E., Gutt, B., Zuber, F., Allegri, S., Le Ouay, B., Mefti, S., Formentin, K., Stellacci, F., Ren, Q. (2017). Core-Shell silver nanoparticles in endodontic disinfection solutions enable long-term antimicrobial effect on oral biofilms. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9(40): 34762-34772. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b13929>.
- Espinosa, F., López, N., Cabada, D., Reyes, S., Zragoza, A., Constandse, D., Donohué, A., Tovar, K., Cuevas, C., Kobayashi T. (2018). Antiadherence and antimicrobial properties of silver nanoparticles against *Streptococcus mutans* on brackets and wires used for orthodontic treatments. *Journal of Nanomaterial*, 2018: 1-11. <https://doi.org/10.1155/2018/9248527>.
- Farahani, A., Beyrami, A., Piri, H., Naghizadeh, A., Imani, H., Farahani, M. (2018). Evaluation of antibacterial properties of resin composites containing silver

- nanoparticles on *Streptococcus mutans*. *Journal Dental Oral Health*, 5: 1-6. <http://www.jscholarpublishers.com/articles/JDOH/Evaluation-of-Antibacterial.pdf>.
- Farshad, M., Abbaszadegan, A., Ghahramani, Y., Jamshidzadeh, A. (2017). Effect of imidazolium-based silver nanoparticles on root dentin roughness in comparison with three common root canal irrigants. *Iranian Endodontic Journal*, 12(1): 83-86. <https://doi.org/10.22037/iej.2017.17>.
- Fatemeh, K., Mohammad Javad, M., Samaneh, K. (2017). The effect of silver nanoparticles on composite shear bond strength to dentin with different adhesion protocols. *Journal of Applied Oral Science*, 25(4): 367-373. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2016-0391>.
- Gao, A., Hang, R., Huang, X., Zhao, L., Zhang, X., Wang, L., Tang, B., Ma, S., Chu, P. K. (2014). The effects of titania nanotubes with embedded silver oxide nanoparticles on bacteria and osteoblasts. *Biomaterials*, 35(13): 4223-4235. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2014.01.058>.
- Ghahremanloo, A., Movahedzadeh, M. (2016). The effect of silver nanoparticles on *Candida albicans* and *Streptococcus mutans* in denture acrylic resins. *Journal of Dental Materials and Techniques*, 5(1): 23-30. <https://doi.org/10.22038/jdmt.2015.6248>.
- Ginjunpalli, K., Alla, R. K., Tellapragada, C., Gupta, L., Upadhy Perampalli, N. (2016). Antimicrobial activity and properties of irreversible hydrocolloid impression materials incorporated with silver nanoparticles. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(6): 722-728. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.11.006>.
- Gligorijevic, N., Mihajlov-krstev, T., Kostic, M., Nikolic, L., Stankovic, N., Nikolic, V., Dinic, A., Igc, M., Bernstein, N. (2022). Antimicrobial properties of silver-modified denture base resins. *Nanomaterials*, 2453. <https://doi.uam.elogim.com/10.3390/nano12142453>.
- Habiboallah, G., Mahdi, Z., Majid, Z., Nasroallah, S., Taghavi, A., Forouzanfar, A., Arjmand N. (2014). Enhancement of gingival wound healing by local application of silver nanoparticles periodontal dressing following surgery: a histological assessment in animal model. *Modern Research in Inflammation*, 3 (3): 128-38. <https://doi.org/10.4236/mri.2014.33016>.
- Halkai, K. R., Halkai, R., Mudra, J. A., Shivanna, V., Rathod, V. (2018). Antibiofilm efficacy of biosynthesized silver nanoparticles against endodontic-periodontal pathogens: an *in vitro* study. *Journal of Conservative Dentistry*, 21(6): 662-666. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_203_18.
- Hao-Hueng, Chang, Tseng, Y. T., Huang, S. W., Kuo, Y. F., Yeh, C. L., Wu, C. H., Huang, Y. C., Jeng, R. J., Lin, J. J., Lin, C. P. (2020). Evaluation of carbon dioxide-based urethane acrylate composites for sealers of root canal obturation. *Polymers*, 12(2): 482. <https://doi.uam.elogim.com/10.3390/polym12020482>.
- Hernández-Venegas, P. A., Martínez-Martínez, R. E., Zaragoza-Contreras, E. A., Domínguez-Pérez, R. A., Reyes-López, S. Y., Donohue-Cornejo, A., Cuevas-González, J. C., Molina-Frechero, N., Espinosa-Cristóbal, L. F. (2023). Bactericidal activity of silver nanoparticles on oral biofilms related to patients with and without periodontal disease. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(6): 311. <https://doi.uam.elogim.com/10.3390/jfb14060311>.

- Hyun, J. S., Lee, B. S., Ryu, H. Y., Sung, J. H., Chung, K. H., Yu, I. J. (2008). Effects of repeated silver nanoparticles exposure on the histological structure and mucins of nasal respiratory mucosa in rats. *Toxicology Letters*, 182(1-3): 24-28. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2008.08.003>.
- Ioannidis, K., Niazi, S., Mylonas, P., Mannocci, F., Deb, S. (2019). The synthesis of nano silver-graphene oxide system and its efficacy against endodontic biofilms using a novel tooth model. *Dental Materials*, 35(11): 1614-1629. <https://doi.uam.elogim.com/10.1016/j.dental.2019.08.105>.
- Jafari, A., Nezhad Fard, R. M., Shahabi, S., Abbasi, F., Shahedin, G. J., Bakhtiari, R. (2021) Optimization of antimicrobial efficiency of silver nanoparticles against three oral microorganisms in irreversible hydrocolloid impressions. *Iranian Journal of Microbiology*, 13(6): 862-870.
- Ji, J. H., Jung, J. H., Kim, S. S., Yoon, J. U., Park, J. D., Choi, B. S., Chung, Y. H., Kwon, I. H., Jeong, J., Han, B. S., Shin, J. H., Sung, J. H., Song, K. S., Yu, I. J. (2007). Twenty-eight-day inhalation toxicity study of silver nanoparticles in Sprague-Dawley rats. *Inhalation Toxicology*, 19(10): 857-871. <https://doi.org/10.1080/08958370701432108>.
- Jiménez-Ramírez A., Martínez-Martínez, R., Ayala-Herrera, J., Zaragoza-Contreras, E., Domínguez-Pérez, R., Reyes-López, S., Donohue-Cornejo, A., Cuevas-González, J., Silva-Benítez, E., Espinosa-Cristóbal, L. (2021). Antimicrobial activity of silver nanoparticles against clinical biofilms from patients with and without dental caries. *Journal of Nanomaterials*, 1: 13. <https://doi.org/10.1155/2021/5587455>.
- Jonaidi-Jafari, N., Izadi, M., Javidi, P. (2016). The effects of silver nanoparticles on antimicrobial activity of ProRoot mineral trioxide aggregate (MTA) and calcium enriched mixture (CEM). *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 8(1): e22-e26. <https://doi.org/10.4317/jced.52568>.
- Kalita, U., Tyagi, V. K., Gupta, S. J., Vaish, S., Sharma, N. (2019). Comparative evaluation of silver nanoparticle gel and chlorhexidine gel as an adjunct to scaling and root planning in management of chronic periodontitis. A clinic microbiological study. *Journal of Dental Specialities*, 7(2): 89-94. <https://doi.org/10.18231/j.jds.2019.022>.
- Kim, J. S., Sung, J. H., Ji, J. H., Song, K. S., Lee, J. H., Kang, C. S., Yu, I. J. (2011). In vivo genotoxicity of silver nanoparticles after 90-day silver nanoparticle inhalation exposure. *Safety and Health at Work*, 2(1): 34-38. <https://doi.org/10.5491/SHAW.2011.2.1.34>.
- Kim, Y. S., Kim, J. S., Cho, H. S., Rha, D. S., Kim, J. M., Park, J. D., Choi, B. S., Lim, R., Chang, H. K., Chung, Y. H., Kwon, I. H., Jeong, J., Han, B. S., Yu, I. J. (2008). Twenty-eight-day oral toxicity, genotoxicity, and gender-related tissue distribution of silver nanoparticles in Sprague-Dawley rats. *Inhalation Toxicology*, 20(6): 575-583. <https://doi.org/10.1080/08958370701874663>.
- Kokura, S., Handa, O., Takagi, T., Ishikawa, T., Naito, Y., Yoshikawa, T. (2010). Silver nanoparticles as a safe preservative for use in cosmetics. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 6(4): 570-574. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2009.12.002>.

- Kranz, S., Guellmar, A., Voelpel, A., Lesser, T., Tonndorf-Martini, S., Schmidt, J., Schrader, C., Faucon, M., Finger, U., Pfister, W., Diefenbeck, M., Sigusch, B. (2019). Bactericidal and biocompatible properties of plasma chemical oxidized titanium (TiOB®) with antimicrobial surface functionalization. *Materials*, 12(6): 866. Basilea, Suiza. <https://doi.org/10.3390/ma12060866>.
- Lee, S. J., Heo, D. N., Lee, D., Heo, M., Rim, H., Zhang, L. G., Park, S. A., Do, S. H., Moon, J. H., Kwon, I. K. (2016). One-step fabrication of AgNPs embedded hybrid dual nanofibrous oral wound dressings. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 12(11): 2041-2050. <https://doi.org/10.1166/jbn.2016.2304>.
- Lee, S., Heo, M., Lee, D., Han, S., Moon, J., Lim, H., Kwon K. (2018). Preparation and characterization of antibacterial orthodontic resin containing silver nanoparticles. *Applied Surface Science*, 432: 317-23. <https://doi.org/10.1016/j.apusc.2017.04.030>.
- Liao, C., Li, Y., Tjong, S. C. (2019). Bactericidal and cytotoxic properties of silver nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(2): 449. <https://doi.org/10.3390/ijms20020449>.
- Liu, X., Gan, K., Liu, H., Song, X., Chen, T., Liu, C. (2017). Antibacterial properties of nano-silver coated PEEK prepared through magnetron sputtering. *Dental Materials*, 33(9): e348-e360. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.06.014>.
- Loyola-Rodríguez, J. P., Torres-Méndez, F., Espinosa-Cristobal, L. F., García-C. J. O., Loyola-Leyva, A., González, F. J., Soto-Barreras, U., Nieto-Aguilar, R., Contreras-Palma, G. (2019). Antimicrobial activity of endodontic sealers and medications containing chitosan and silver nanoparticles against *Enterococcus faecalis*. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 17(3): 28-36. <https://doi.uam.elogim.com/10.1177/2280800019851771>.
- Mackevica, A., Olsson, M. E., Hansen, S. F. (2017). The release of silver nanoparticles from commercial toothbrushes. *Journal of Hazardous Materials*, 322(Pt A): 270-275. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.03.067>.
- Mahmoud, A., Moussa, S., El Backly, R., El-Gendy, R. (2022). Investigating the residual effect of silver nanoparticles gel as an intra-canal medicament on dental pulp stromal cells. *BMC Oral Health*, 22(1): 1-14. <https://doi.uam.elogim.com/10.1186/s12903-022-02542-2>.
- Maneewattanapinyo, P., Banlunara, W., Thammacharoen, C., Ekgasit, S., Kaewamatawong, T. (2011). An evaluation of acute toxicity of colloidal silver nanoparticles. *The Journal of Veterinary Medical Science*, 73(11): 1417-1423. <https://doi.org/10.1292/jvms.11-0038>.
- Massa, M. A., Covarrubias, C., Bittner, M., Fuentesvilla, I. A., Capetillo, P., Von Martens, A. y Carvajal, J. C. (2014). Synthesis of new antibacterial composite coating for titanium based on highly ordered nanoporous silica and silver nanoparticles. *Materials Science & Engineering. C, Materials for Biological Applications*, 45: 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2014.08.057>.
- Mathur, P., Jha, S., Ramteke, S., Jain, N. K. (2018). Pharmaceutical aspects of silver nanoparticles. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 46(1): 115-126. <https://doi.org/10.1080/21691401.2017.1414825>.

- Matsumoto-Nakano, M. (2018). Role of *Streptococcus mutans* surface proteins for biofilm formation. *The Japanese Dental Science Review*, 54(1): 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2017.08.002>.
- Mei, L., Chieng, J., Wong, C., Benic, G., Farella, M. (2017). Factors affecting dental biofilm in patients wearing fixed orthodontic appliances. *Progress in Orthodontics*, 18(1): 4. <https://doi.org/10.1186/s40510-016-0158-5>.
- Mendes, M. S., Resende, L. D., Pinto, C. A., Raldi, D. P., Cardoso, F. G., Habitante, S. M. (2017). Radiopacity of mineral trioxide aggregate with and without inclusion of silver nanoparticles. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 18(6): 448-451. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2063>.
- Mendes-Gouvêa, C. C., Do Amaral, J. G., Fernandes, R. A., Fernandes, G. L., Gorup, L. F., Camargo, E. R., Delbem, A. C. B., Barbosa, D. B. (2018). Sodium trimetaphosphate and hexametaphosphate impregnated with silver nanoparticles: characteristics and antimicrobial efficacy. *Biofouling*, 34(3): 299-308. <https://doi.org/10.1080/08927014.2018.1437146>.
- Mhaske, A. R., Shetty, P. C., Bhat, N. S., Ramachandra, C. S., Laxmikanth, S. M., Nagarahalli, K., Tekale, P. D. (2015). Antiadherent and antibacterial properties of stainless steel and N₁T₁ orthodontic wires coated with silver against *Lactobacillus acidophilus*: an *in vitro* study. *Progress in Orthodontics*, 16: 40. <https://doi.org/10.1186/s40510-015-0110-0>.
- Misba, L., Kulshrestha, S., Khan, A. U. (2016). Antibiofilm action of a toluidine blue O-silver nanoparticle conjugate on *Streptococcus mutans*: a mechanism of type I photodynamic therapy. *Biofouling*, 32(3): 313-328. <https://doi.org/10.1080/08927014.2016.1141899>.
- Mohandoss, S., Murugaboopathy, V., Haricharan, P. B., Hebbal, M. I., Saadaldin, S., Soliman, M., Eldwakhly, E. (2023). Ulvan as a reducing agent for the green synthesis of silver nanoparticles: a novel mouthwash. *Inorganics*, 11(1): 5. <https://doi.uam.elogim.com/10.3390/inorganics11010005>.
- Morales, R. A., Castañares, R., Schougal, R., Guadarrama, S., Sánchez, V. (2018) Antibacterial effect of silver nanoparticles versus chlorhexidine against *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus casei*. En *Silver nanoparticles - Fabrication, characterization and applications*. IntechOpen, 117-29. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76183>.
- Moreira, D. M., Oei, J., Rawls, H. R., Wagner, J., Chu, L., Li, Y., Zhang, W., Whang, K. (2015). A novel antimicrobial orthodontic band cement with *in situ*-generated silver nanoparticles. *The Angle Orthodontist*, 85(2): 175-183. <https://doi.org/10.2319/022314-127.1>.
- Morio, K., Thayer, E. L., Bates, A. M., Brogden, K. A. (2019). 255-nm light emitting diode kills *Enterococcus faecalis* and induces the production of cellular biomarkers in human embryonic palatal mesenchyme cells and gingival fibroblasts. *Journal of Endodontics*, 45(6): 774-783. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.02.016>.
- Nabavizadeh, M., Ghahramani, Y., Abbaszadegan, A., Jamshidzadeh, A., Jenabi, P., Makarempour, A. (2018). *In vivo* biocompatibility of an ionic liquid-protected silver nanoparticle solution as root canal irrigant. *Iranian Endodontic Journal*,

13(3): 293-298. <https://doi.org/10.22037/iej.v13i3.17386>.

- Nam, K. Y. (2017). Characterization and antimicrobial efficacy of Portland cement impregnated with silver nanoparticles. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 9(3): 217-223. <https://doi.org/10.4047/jap.2017.9.3.217>.
- Nandi, S. K., Shivaram, A., Bose, S., Bandyopadhyay, A. (2018). Silver nanoparticle deposited implants to treat osteomyelitis. *Journal of Biomedical Materials Research. Part B, Applied Biomaterials*, 106(3): 1073-1083. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.33910>.
- Noronha, V. T., Paula, A. J., Durán, G., Galembeck, A., Cogo-Müller, K., Franz-Montan, M., Durán, N. (2017). Silver nanoparticles in dentistry. *Dental Materials*, 33(10): 1110-1126. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.07.002>.
- Nunes De Souza Neto, F., Lang Sala, R., Aparecido Fernandes, R., Pardim Oliveira Xavier, T., Cruz, S. A., Paranhos, C. M., Monteiro, D. R., Barros Barbosa, D., Botazzo Delbem, A. C., Rodrigues De Camargo, E. (2019). Effect of synthetic colloidal nanoparticles in acrylic resin of dental use. *European Polymer Journal*, 112: 531-538. <https://doi.uam.elogim.com/10.1016/j.eurpolymj.2018.10.009>.
- Paiva, L., Fidalgo, T. K. S., Da Costa, L. P., Maia, L. C., Balan, L., Anselme, K., Ploux, L., Thiré, R. M. S. M. (2018). Antibacterial properties and compressive strength of new one step preparation silver nanoparticles in glass ionomer cements (NanoAg-GIC). *Journal of Dentistry*, 69: 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.12.003>.
- Pelgrift, R. Y., Friedman, A. J. (2013). Nanotechnology as a therapeutic tool to combat microbial resistance. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 65(13-14): 1803-1815. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2013.07.011>.
- Pena, Mirle, Luz M. López-Marin, Blanca Millán, Patricia Manzano-Galosso. (2021). Polymer mediated synthesis of cationic silver nanoparticles as an effective anti-fungal and anti-biofilm agent against *Candida* species. *Colloid and Interface Science Communications*, 43. 100449. [10.1016/j.colcom.2021.100449](https://doi.org/10.1016/j.colcom.2021.100449).
- Pérez-Díaz, M. A., Boegli, L., James, G., Velasquillo, C., Sánchez-Sánchez, R., Martínez-Martínez, R. E., Martínez-Castañón, G. A., Martínez-Gutiérrez, F. (2015). Silver nanoparticles with antimicrobial activities against *Streptococcus mutans* and their cytotoxic effect. *Materials Science & Engineering. C, Materials for Biological Applications*, 55: 360-366. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.05.036>.
- Pokrowiecki, R., Zaręba, T., Szaraniec, B., Pałka, K., Mielczarek, A., Menaszek, E., Tyski, S. (2017). *In vitro* studies of nanosilver doped titanium implants for oral and maxillofacial surgery. *International Journal of Nanomedicine*, 12: 4285-4297. <https://doi.org/10.2147/IJN.S131163>.
- Presas Fernández, A. M. (2016). En México, la enfermedad periodontal tiene una prevalencia de 70 por ciento. http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2016_476.html. (Consultado, junio 16, 2022).
- Priyadarshini, B. M., Fawzy, A. S. (2017). Potentiating the antibacterial effect of silver nanospheres by surface-capping with chlorhexidine gluconate. *Journal of Nanoparticle Research*, 19: 147. <https://doi.org/10.1007/s11051-017-3846-2>.
- Qing, Y., Cheng, L., Li, R., Liu, G., Zhang, Y., Tang, X., Wang, J., Liu, H., Qin, Y.

- (2018). Potential antibacterial mechanism of silver nanoparticles and the optimization of orthopedic implants by advanced modification technologies. *International Journal of Nanomedicine*, 13: 3311-3327. <https://doi.org/10.2147/IJN.S165125>.
- Rajendran, V., Suma, K., Ali, S., Karthigeyan, R., Kalarani, G. (2021). Antimicrobial efficacy of irreversible hydrocolloid impression impregnated with silver nanoparticles compared to surface disinfected impressions - An *in vivo* study. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 13: 532-536. https://doi.uam.elogim.com/10.4103/jpbs.JPBS_565_20.
- Rani, S., Chandra, R. V., Reddy, A. A., Reddy, B. H., Nagarajan, S., Naveen, A. (2015). Evaluation of the antibacterial effect of silver nanoparticles on guided tissue regeneration membrane colonization an *in vitro* study. *Journal of the International Academy of Periodontology*, 17(3): 66-76. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26373223/>.
- Rodrigues, C. T., De Andrade, F. B., De Vasconcelos, L. R. S. M., Midena, R. Z., Pereira, T. C., Kuga, M. C., Duarte, M. A. H., Bernardineli, N. (2018). Antibacterial properties of silver nanoparticles as a root canal irrigant against *Enterococcus faecalis* biofilm and infected dentinal tubules. *International Endodontic Journal*, 51(8): 901-911. <https://doi.org/10.1111/iej.12904>.
- Saafan, A., Zaazou, M. H., Sallam, M. K., Mosallam, O., Danaf, H. A. (2018). Assessment of photodynamic therapy and nanoparticles effects on caries models. *Open access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 6(7): 1289-1295. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2018.241>.
- Sawan, N. M., Alsagob, E. I., Ben Gasseem, A. A., Alshami, A. A. (2021). Graphene functionalized with nanosilver particle-modified methacrylate-based bonding agent improves antimicrobial capacity and mechanical strength at tooth orthodontic bracket interface. *Polymer Composites*, 5850-5858. <https://doi.uam.elogim.com/10.1002/pc.26265>.
- Saygi, K. O., Bayram, H. M., Bayram, E. (2022). Green synthesis of silver nanoparticles using artichoke flower petals and application in endodontic dentistry. *Biomass Conversion and Biorefinery: Processing of Biogenic Material for Energy and Chemistry*, 1-9. <https://doi.uam.elogim.com/10.1007/s13399-022-02857-8>.
- Scarpelli, B. B., Punhagui, M. F., Hoepfner, M. G., Almeida, R. S. C., Juliani, F. A., Guiraldo, R. D., Berger, S. B. (2017). *In vitro* evaluation of the remineralizing potential an antimicrobial activity of cariostatic agent with silver nanoparticles. *Brazilian Dental Journal*, 28(6): 738-743. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201701365>.
- Schwass, D. R., Lyons, K. M., Love, R., Tompkins, G. R., Meledandri, C. J. (2018). Antimicrobial activity of a colloidal AgNPs suspension demonstrated *in vitro* against monoculture biofilms: toward a novel tooth disinfectant for treating dental caries. *Advances in Dental Research*, 29(1): 117-123. <https://doi.org/10.1177/0022034517736495>.
- Serrano-Díaz, P., Williams, D., Vega-Arreguin, J., Manisekaran, R., Twigg, J., Morse, D., García-Contreras, R., Arenas-Arrocena, C., Acosta-Torres, L. (2023). Gera-

- nium leaf-mediated synthesis of silver nanoparticles and their transcriptomic effects on *Candida albicans*. *Green Processing and Synthesis*. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/gps-2022-8105/html>.
- Shahare, B., Yashpal, M. (2013). Toxic effects of repeated oral exposure of silver nanoparticles on small intestine mucosa of mice. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 23(3): 161-167. <https://doi.org/10.3109/15376516.2013.764950>.
- Sharma, D., Misba, L., Khan, A. U. (2019). Antibiotics versus biofilm: an emerging battleground in microbial communities. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, 16(8): 76. <https://doi.org/10.1186/s13756-019-0533-3>.
- Shawky, H., Basha, S., Batouti, G., Kassem, A. (2015). Evaluation of clinical and antimicrobial efficacy of silver nanoparticles and tetracycline films in the treatment of periodontal pockets. *IOSR Journal of Dental and Medical Science*, 14: 113-23. https://www.researchgate.net/publication/299391569_Evaluation_of_Clinical_and_Antimicrobial_Efficacy_of_Silver_Nanoparticles_and_Tetracycline_Films_in_the_Treatment_of_Periodontal_Pockets.
- Shen, X. T., Zhang, Y. Z., Xiao, F., Zhu, J., Zheng, X. D. (2017). Effects on cytotoxicity and antibacterial properties of the incorporations of silver nanoparticles into the surface coating of dental alloys. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 18(7): 615-625. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1600555>.
- Sirisha, P., Gayathri, G. V., Dhoom, S. M., Amulya, K. S. (2018). Antimicrobial effect of silver nanoparticles synthesized with *Ocimum sanctum* leaf extract on periodontal pathogens. *Journal Oral Health Dental Science*, 1(1): 1-7. <https://doi.org/2F10.18875/2F2577-1485.1.106>.
- Sodagar, A., Akhavan, A., Hashemi, E., Arab, S., Pourhajibagher, M., Sodagar, K., Kharrazifard, M. J., Bahador, A. (2016). Evaluation of the antibacterial activity of a conventional orthodontic composite containing silver/hydroxyapatite nanoparticles. *Progress in Orthodontics*, 17(1): 40. <https://doi.org/10.1186/s40510-016-0153-x>.
- Tărăboanță, I., Burlec, A. F., Stoleriu, S., Corciovă, A., Fifere, A., Batir-Marin, D., Hâncianu, M., Mircea, C., Nica, I., Tărăboanță-Gamen, A. C., Andrian, S. (2023). Influence of the loading with newly green silver nanoparticles synthesized using *Equisetum sylvaticum* on the antibacterial activity and surface hardness of a composite resin. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(7): 402. <https://doi.uam.elogim.com/10.3390/jfb14080402>.
- Tristán-López, J.-D., Niño-Martínez, N., Kolosovas-Machuca, E.-S., Patiño-Marín, N., De Alba-Montero, I., Bach, H., Martínez-Castañón, G.-A. (2023). Application of silver nanoparticles to improve the antibacterial activity of orthodontic adhesives: an *in vitro* study. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(2): 1401. <https://doi.uam.elogim.com/10.3390/ijms24021401>.
- Ventola, C. L. (2012). The nanomedicine revolution: part 2: current and future clinical applications. *P & T: A Peer-Reviewed Journal for Formulary Management*, 37(10): 582-591. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3474440/>.
- Ventola, C. L. (2017). Progress in nanomedicine: approved and investigational nanodrugs. *P & T: A Peer-Reviewed Journal for Formulary Management*, 42(12): 742-

755. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5720487/>.
- Venugopal, A., Muthuchamy, N., Tejani, H., Gopalan, A. I., Lee, K. P., Lee, H. J., Kyung, H. M. (2017). Incorporation of silver nanoparticles on the surface of orthodontic microimplants to achieve antimicrobial properties. *Korean Journal of Orthodontics*, 47(1): 3-10. <https://doi.org/10.4041/kjod.2017.47.1.3>.
- Widbiller, M., Schmalz, G. (2021). Endodontic regeneration: hard shell, soft core. *Odontology*, 109(2): 303-312. <https://doi.org/10.1007/s10266-020-00573-1>.
- Wu, D., Fan, W., Kishen, A., Gutmann, J. L., Fan, B. (2014). Evaluation of the antibacterial efficacy of silver nanoparticles against *Enterococcus faecalis* biofilm. *Journal of Endodontics*, 40(2): 285-290. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.08.022>.
- Wu, R., Zhao, Q., Lu, S., Fu, Y., Yu, D., Zhao, W. (2018). Inhibitory effect of reduced graphene oxide-silver nanocomposite on progression of artificial enamel caries. *Journal of Applied Oral Science*, 27: e20180042. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2018-0042>.
- Xiao, S., Wang, H., Liang, K., Tay, F., Weir, M. D., Melo, M. A. S., Wang, L., Wu, Y., Oates, T. W., Ding, Y. y Xu, H. H. K. (2019). Novel multifunctional nanocomposite for root caries restorations to inhibit periodontitis-related pathogens. *Journal of Dentistry*, 81: 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.12.001>.
- Yuqiong, Yang, Yashuang Ding, Yue Fan, Lingyan Ren, Xuna Tang, Xiangfeng Meng. (2021). Application of silver nanoparticles *in situ* synthesized in dental adhesive resin. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 108: 102890. <https://doi.uam.elogim.com/10.1016/j.ijadhadh.2021.102890>.
- Zhang, P., Qin, J., Zhang, B., Zheng, Y., Yang, L., Shen, Y., Zuo, B., Zhang, F. (2019). Gentamicin-loaded silk/nanosilver composite scaffolds for MRSA-induced chronic osteomyelitis. *Royal Society Open Science*, 6(5): 182102. <https://doi.org/10.1098/rsos.182102>.
- Zheng, T., Huang, X., Chen, J., Feng, D., Mei, L., Huang, Y., Quan, G., Zhu, C., Singh, V., Ran, H., Pan, X., Wu, C. Y., Wu, C., (2018). A liquid crystalline precursor incorporating chlorhexidine acetate and silver nanoparticles for root canal disinfection. *Biomaterials Science*, 6(3): 596-603. <https://doi.org/10.1039/c7bm00764g>.
- Zhong, X., Song, Y., Yang, P., Wang, Y., Jiang, S., Zhang, X., Li, C. (2016). Titanium surface priming with phase-transited lysozyme to establish a silver nanoparticle-loaded chitosan/hyaluronic acid antibacterial multilayer via layer-by-layer self-assembly. *PLoS One*, 11(1): e0146957. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146957>.