



## Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata para su uso en odontología

### Synthesis and characterization of silver nanoparticles for use in dentistry

Ma. Elena Ponce-Díaz<sup>1,2-a</sup> | Blanca Silvia González-López<sup>3-b</sup> | Norma Leticia Robles-Bermeo<sup>3-c</sup> | Carolina Sámano-Valencia<sup>4-d</sup> | Adriana Patricia Rodríguez-Hernández<sup>5-e</sup> | Carlo Eduardo Medina-Solís<sup>2,3-f</sup>

<sup>1</sup> | ID | Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.

<sup>2</sup> | ID | Área Académica de Odontología del Instituto de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, México.

<sup>3</sup> | ID | Centro de Investigación y Estudios Avanzados Dr. Keisaburo Miyata de la Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.

<sup>4</sup> | ID | Laboratorio de Materiales y Biomateriales Dentales de la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.

<sup>5</sup> | ID | Laboratorio de Genética Molecular de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional Autónoma de México. CDMX, México.

#### HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recepción: 04-04-2024

Aceptación: 30-05-2024

Publicación: 30-06-2024

#### PALABRAS CLAVE

salud bucal,  
síntesis, caracterización,  
nanopartículas de plata,  
antibacterianos.

#### KEY WORDS

oral health, synthesis,  
characterization,  
silver nanoparticles,  
antibacterial.

#### RESUMEN

**Objetivo.** Reportar la síntesis y caracterización de nanopartículas de plata y discutir su efecto antimicrobiano de aplicación en odontología. **Materiales y Métodos.** Para la fase de síntesis, se disolvieron 0.169 g de AgNO<sub>3</sub> en 100 mL de agua desionizada sobre plataforma de agitación magnética, luego se agregaron 0.1 g de ácido gálico previamente disuelto en 10 mL de agua desionizada. Después de adicionar el ácido gálico, se ajustó el pH con una solución de NaOH 0.1 M en escamas. Para la caracterización de las nanopartículas obtenidas, se empleó microscopía electrónica de transmisión y microscopía de fuerza atómica en modo AC. Los análisis para la caracterización se prepararon utilizando las dispersiones acuosas obtenidas de nanopartículas de plata las cuales se dejaron secar sobre una rejilla de cobre con recubrimiento de carbono. En la síntesis realizada se emplea el ácido gálico como agente reductor y estabilizador, la reacción de oxidación de los grupos fenol en el ácido gálico fue responsable de la reducción de los iones de plata. **Resultados.** Mediante la microscopía electrónica por transmisión se observó la presencia de nanopartículas de plata de forma esférica con tamaños monodispersos que oscila entre los 5 nm a 13.4 nm, es decir, de la síntesis se obtuvo un tamaño homogéneo. **Conclusiones.** Considerando la facilidad de aplicación y su potencial acción bactericida, se concluye que las nanopartículas de plata de forma esférica desarrolladas en este trabajo tienen un gran potencial para ser utilizados como auxiliares en el tratamiento de las enfermedades orales.

#### ABSTRACT

**Objective.** To report the synthesis and characterization of silver nanoparticles and to discuss their antimicrobial effect for application in dentistry. **Materials and Methods.** For the synthesis phase, 0.169 g of AgNO<sub>3</sub> were dissolved in 100 mL of deionized water on a magnetic stirring platform, then 0.1 g of gallic acid previously dissolved in 10 mL of deionized water were added. After adding the gallic acid, the pH was adjusted with 0.1 M NaOH flake solution. For the characterization of the nanoparticles obtained, transmission electron microscopy and atomic force microscopy in AC mode were used. Analyzes for characterization were prepared using aqueous dispersions obtained from silver nanoparticles which were allowed to dry on a carbon-coated copper grid. In the synthesis carried out, gallic acid is used as a reducing and stabilizing agent, the oxidation reaction of the phenol groups in gallic acid was responsible for the reduction of silver ions. **Results.** Through transmission electron microscopy, the presence of spherical silver nanoparticles with monodisperse sizes ranging from 5 nm to 13.4 nm was observed, that is, a homogeneous size was obtained from the synthesis. **Conclusions.** Considering the ease of application and its potential bactericidal action, it is concluded that the spherical silver nanoparticles developed in this work have great potential to be used as auxiliaries in the treatment of oral diseases.

#### ORCID

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7106-2503>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4537-217X>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8516-9689>

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3357-4372>

<sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9473-1749>

<sup>f</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1410-9491>

#### CORRESPONDENCIA AUTOR

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE  
MÉXICO, TOLUCA, MÉXICO

E-MAIL: DRA.ELENAPONCE@GMAIL.COM

## INTRODUCCIÓN

La nanotecnología, un área de investigación con gran potencial que ha estado en constante desarrollo y ha ganado un interés significativo en el dominio científico. Las nanopartículas, un campo importante de la nanotecnología, son materiales con dimensiones nanométricas inferiores a 100 nanómetros<sup>1</sup>. Tienen propiedades únicas debido a su tamaño, forma, composición, mayor área de superficie con relación a su volumen y pureza de los constituyentes<sup>2</sup>. En este sentido, las nanopartículas metálicas han sido ampliamente investigadas y despertado un especial interés debido a la atracción de sus propiedades físicas únicas, reactividad química y aplicacio-

nes potenciales con alto impacto académico e industrial, las cuales son superiores a las del material a granel, ya que pueden modificarse en función al propósito del material final<sup>3,4</sup>.

Las nanopartículas se utilizan cada vez más en varios campos, incluidos los fines médicos, alimentarios, sanitarios, de consumo e industriales, debido a sus propiedades únicas. Estos incluyen propiedades ópticas, eléctricas y térmicas, de alta conductividad eléctrica y biológicas<sup>5</sup>. Los materiales a nivel de nanoescala se encuentran en una variedad de formas dependiendo de su aspecto y estructura. En las aplicaciones biomédicas, la dimensión es un factor esencial porque de ella depende en gran medida la interacción de los materiales con las estructuras biológicas del interior del cuerpo humano<sup>1</sup>.

Por otro lado, se sabe que las bacterias patógenas causan anualmente un número significativo de infecciones y muertes, donde las infecciones de heridas crónicas afectan al 1-2 % de la población. El tratamiento de estas incluye la utilización de antibióticos, y el carácter crónico del proceso conduce a la aparición de cepas de microorganismos multirresistentes. Más del 70 % de las infecciones son causadas por cepas bacterianas resistentes a uno o más antibióticos de uso común<sup>6</sup>.

La resistencia a los antimicrobianos es una de las principales preocupaciones de salud pública del siglo XXI, con importantes implicaciones económicas. Según la Organización Mundial de la Salud, las infecciones causadas por bacterias resistentes a los antibióticos son responsables de al menos 700 000 muertes anuales en todo el mundo. Este número podría aumentar a 10 millones para 2050 si no se toman medidas sustanciales<sup>7</sup>, lo que conlleva a la búsqueda de nuevas alternativas para el manejo y control de las mismas<sup>8-10</sup>.

En los últimos años se han tenido avances significativos de nanotecnología para combatir la resistencia a los antibióticos debido a que se han estudiado las propiedades antimicrobianas de diversas nanopartículas, las cuales tienen potencial para diversas aplicaciones biomédicas<sup>5,10-12</sup>. Los iones metálicos tienen una larga historia de actividad antimicrobiana y han recibido una atención cada vez mayor en los últimos años debido al aumento de la resistencia a los antimicrobianos. La búsqueda de agentes antibacterianos ahora abarca iones metálicos, nanopartículas y complejos metálicos con actividad antimicrobiana, que pueden ser una solución potencial contra las bacterias resistentes a múltiples fármacos<sup>9</sup>. Las nanopartículas de plata (AgNP) debido a

sus propiedades peculiares, se han utilizado para varias aplicaciones, incluso como agentes antibacterianos, ya que poseen un amplio espectro de propiedades antibacterianas, antifúngicas y antivirales<sup>5,13</sup>.

En odontología, las nanopartículas de plata han llamado especialmente la atención debido a su amplio espectro de actividad antimicrobiana<sup>14</sup>. El uso de las AgNP en el tratamiento de infecciones en los tejidos bucales es de interés debido a sus efectivas actividades antibacterianas y antivirales, con efectos citotóxicos mínimos sobre las células<sup>15</sup>. Los innovadores complejos de plata representan nuevos agentes antibacterianos potenciales para su uso en varios procedimientos como en el tratamiento de la enfermedad periodontal, caries y complicaciones en el tratamiento endodóntico, entre otros.

Tienen también una amplia gama de aplicaciones en odontología restauradora, implantología, prótesis dentales, ortodoncia y otras especialidades dentales, ya que las AgNP tienen un excelente efecto antibacteriano<sup>11,13,16</sup>.

En general, las propiedades de las nanopartículas de plata dependen en gran medida de su morfología, por ejemplo, las AgNP con dimensiones pequeñas y formas geométricas esféricas o cuasi esféricas liberan una mayor cantidad de Ag<sup>+</sup> debido a su mayor área de superficie específica. Por lo tanto, los iones de plata pueden reaccionar con los grupos -SH de enzimas y proteínas que se unen a la pared celular de las bacterias, y más aún, los iones Ag<sup>+</sup> liberados de las AgNP pueden penetrar la pared celular bacteriana, llegando al citoplasma y degradando así el ADN cromosómico<sup>3</sup>. Las AgNP biosintetizadas muestran actividad antimicrobiana contra *Escherichia coli*, en sistemas líquidos y en placas de agar<sup>17</sup>. En *P. aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *S. aureus* resistente a metilicina, *Acinetobacter baumannii* y *Candida albicans*<sup>18</sup>. *A. actinomycetemcomitans*, *F. nucleatum*, *S. mitis*, *S. mutans* y *S. sanguis*<sup>19</sup>. También ha sido evaluada contra *Candida albicans* y biofilms maduros de *Candida glabrata*; además, se ha referido que su efecto depende de los diferentes diámetros AgNP ya que se reporta que las AgNP de 5 nm presentan mayor actividad antibacteriana<sup>19,20</sup>. Además, se ha probado la efectividad antibacteriana de nanopartículas de plata y las bimetálicas plata-oro contra el patógeno oral anaeróbico *P. gingivalis* W83<sup>21</sup>.

El objetivo del presente trabajo fue reportar la síntesis y caracterización de nanopartículas de plata y discutir su efecto antimicrobiano en odontología.

## METODOLOGÍA

### Diseño del estudio

Se realizó una investigación cuantitativa con diseño experimental in vitro.

### Síntesis de nanopartículas de plata

Para la fase de síntesis de las nanopartículas de plata se siguió el procedimiento previamente reportado<sup>22-24</sup>, en donde se disolvieron 0.169 g de  $\text{AgNO}_3$  (Nitrato de plata cristal reactivo J.T. Baker ACS PM 169.87) en 100 mL de agua desionizada (reactivo químicos HYCEL) sobre plataforma de agitación magnética, luego se agregaron 0.1 g de ácido gálico (reactivo MEYER PM188.14) previamente disueltos en 10 mL de agua desionizada, después de adicionar el ácido gálico se ajusta el PH con una solución de NaOH 0.1 M (Hidróxido de sodio escamas, reactivo J.T. Baker PM40.00)

### Caracterización

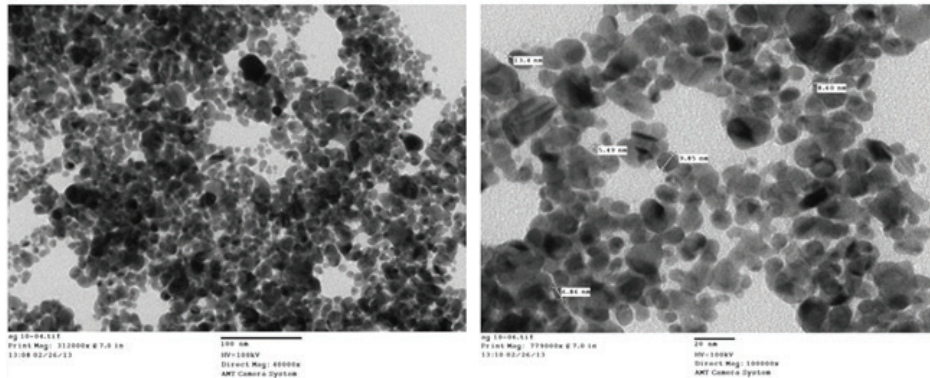
Para la caracterización de las nanopartículas obtenidas se empleó microscopía electrónica de transmisión (TEM) (JEOL-JEM 1230 a un voltaje de 100 kV) y microscopía de fuerza atómica (AFM) (JSPM-5200) en modo AC. Los análisis para la caracterización se pre-

pararon utilizando las dispersiones acuosas obtenidas de nanopartículas de plata las cuales se dejaron secar sobre una rejilla de cobre con recubrimiento de carbono.

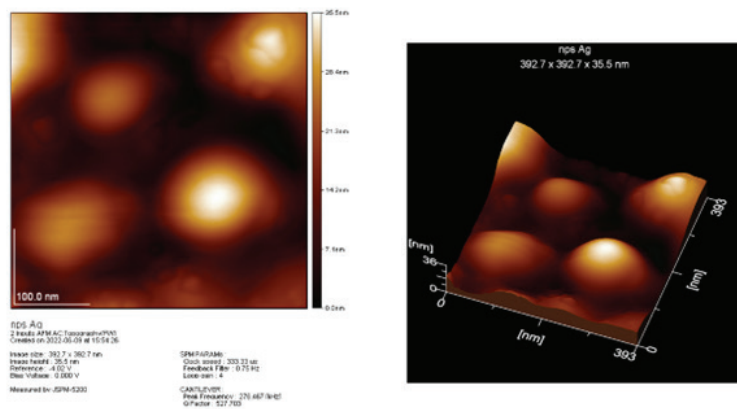
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los antibióticos han sido la piedra angular de la medicina moderna durante la mayor parte del siglo pasado. Sin embargo, las infecciones bacterianas continúan causando pérdidas sustanciales de vidas y salud en todo el mundo, lo que afecta de manera desproporcionada a los países de ingresos medianos bajos. En respuesta a la propagación mundial de la resistencia a los antimicrobianos, existe una mayor demanda de antimicrobianos nuevos e innovadores<sup>25</sup>. En la síntesis realizada en este estudio se emplea el ácido gálico como agente reductor y estabilizador, la reacción de oxidación de los grupos fenol en el ácido gálico fue responsable de la reducción de los iones de plata<sup>24,26</sup>.

Mediante la microscopía electrónica por transmisión (TEM) se observó la presencia de nanopartículas de plata de forma esférica con tamaños monodispersos que oscila entre los 5 nm a 13.4 nm, es decir, de la síntesis se obtuvo un tamaño homogéneo *Microfotografía 1*.



Microfotografía 1. Imágenes TEM a un voltaje de 100 kV a) 100nm b) 20nm.



Microfotografía 2. Imágenes en AFM donde se aprecian nanopartículas de forma esférica.



Al referirnos a las síntesis hacemos mención a un conjunto de procedimientos detallados mediante algún protocolo en el laboratorio para obtener nanopartículas, estables con elevada cristalinidad y pureza<sup>27</sup>. Existen varios tipos de síntesis que se han reportado, los cuales se dividen en tradicionales y no tradicionales<sup>28</sup>. El método químico es el más conveniente para la obtención de nanopartículas uniformes y pequeñas<sup>29</sup>. Los métodos más representativos de esta aproximación son: la síntesis de nanopartículas en disolución (disolución coloidal) requiere del empleo de métodos que permitan obtener un control preciso sobre el tamaño y la forma de las nanopartículas para así obtener un conjunto de partículas monodispersas que presenten una propiedad determinada. El tamaño y la forma de las nanopartículas dependerá de las velocidades relativas de estos procesos que pueden ser controladas a través de la modificación de los parámetros de reacción (concentración, temperatura, pH, poder reductor, etc.)<sup>30</sup>.

La nanotecnología tiene varias aplicaciones en el ámbito odontológico, como ya lo hemos mencionado, desde el diagnóstico, prevención y tratamiento de patologías orales como lo son la caries dental y la enfermedad periodontal, lesiones en tejidos blandos y hasta posibles indicaciones para mejorar la estética dental y el comportamiento mecánico, biológico y óptico de materiales restauradores.

De igual manera las nanopartículas se han propuesto como sistemas de administración de fármacos, la remineralización dental, el manejo de la hipersensibilidad dentinaria, en el tratamiento del biofilm oral, la desinfección del conducto radicular, la anestesia local y como ya mencionamos en la enfermedad periodontal<sup>31,32</sup>. Las AgNP se consideraron como posibles agentes de control de la infección por bacterias orales debido a su excelente actividad antimicrobiana y sus efectos tóxicos no agudos en las células humanas<sup>19</sup>.

Se reporta que el uso de NPAg en combinación con antibióticos y luz azul puede ser una terapia triple para bacterias resistentes a múltiples fármacos, contra aislados clínicos de *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus aureus* resistente a meticilina<sup>33</sup>. De igual manera se sabe que el uso de las NPAg incorporadas al adhesivo (primer) colocado en el esmalte dental adyacente a la aparatología ortodóncica fija en donde se obtuvo una disminución de la presencia de *Streptococcus mutans* con lo que observan que las NPAg son de eficacia para prevenir la desmineralización

del esmalte alrededor de la aparatología ortodóncica fija<sup>34</sup>. Se ha probado la efectividad antibacteriana de nanopartículas de plata y las bimetálicas platas /oro contra el patógeno oral anaeróbico *P. gingivalis* W83<sup>21</sup>. Así mismo, ha sido demostrada la eficacia antimicrobiana de AgNPs y AuNP en combinación con láser la cual se reporto es efectiva en la desinfección del conducto radicular<sup>35</sup>, las NPAg en estudios in vitro demuestran su efectividad antimicrobiana para desinfección del conducto radicular siendo útil contra *E. faecalis* en donde la CMI fue de 30 mg/ml<sup>36</sup>. Se han reportado concentraciones mínimas inhibitorias (CMI) de NPAg de 16 a 32 µg/mL para las bacterias del biofilm subgingival y de 32 a 65 µg/mL para las especies de importancia médica las cepas que se emplean en el estudio fueron: *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia coli*; esto comparado con compuestos nanométricos de bismuto los en los cuales se observa efecto antimicrobiano sin embargo es más eficaz que se reporta con el uso de NPAg<sup>37</sup>.

## CONCLUSIONES

Finalmente, considerando la facilidad de aplicación, y su potencial acción bactericida, se concluye que las nanopartículas de plata de forma esférica desarrolladas en este trabajo tienen un gran potencial para ser utilizados como auxiliares en el tratamiento de las enfermedades orales.

### Agradecimiento

Este estudio fue apoyado por una beca otorgada por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología de México (CONAHCYT) a M.E.P.D.

### Consentimiento informado

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

### Declaración de la contribución de los autores

MEPD, BSGL, CSV y CEMS, conceptualizaron y diseñaron el estudio. NLRB, APRH, contribuyeron al análisis de datos, la interpretación de datos y la redacción del borrador. Todos los autores contribuyeron a una revisión crítica del manuscrito y aprobaron la versión final. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

### Declaración de disponibilidad de los datos

El intercambio de datos no es aplicable, ya que en este estudio no se crearon ni analizaron nuevos datos.

### Cuestiones bioéticas

Este estudio no utilizó muestras biológicas para la comprobación de sus resultados solo se utilizaron muestras sintéticas, para lo cual no se necesitó la aprobación de Comités de Bioética o Intervención en seres humanos o animales.

## REFERENCIAS

- Nicolae-Maranciuc A, Chicea D, Chicea LM. Ag Nanoparticles for Biomedical Applications-Synthesis and Characterization-A Review. *Int J Mol Sci.* 2022;23(10):5778. doi: 10.3390/ijms23105778.
- Sartori P, Delamare APL, Machado G, Devine DM, Crespo JS, Giovanela M. Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles for the Preparation of Chitosan Pellets and Their Application in Industrial Wastewater Disinfection. *Water.* 2023; 15(1):190. Doi: 10.3390/w15010190
- Pascu B, Negrea A, Ciopec M, Duteanu N, Negrea P, Bumm LA, et al. Silver Nanoparticle Synthesis via Photochemical Reduction with Sodium Citrate. *Int J Mol Sci.* 2022;24(1):255. doi: 10.3390/ijms24010255.
- Dorjnamjin D, Ariunaa M, Shim YK. Synthesis of silver nanoparticles using hydroxyl functionalized ionic liquids and their antimicrobial activity. *Int J Mol Sci.* 2008;9(5):807-820. doi: 10.3390/ijms9050807.
- Zhang XF, Liu ZG, Shen W, Gurunathan S. Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches. *Int J Mol Sci.* 2016;17(9):1534. doi: 10.3390/ijms17091534.
- Pryshchepa O, Pomastowski P, Rafińska K, Gołębiowski A, Rogowska A, Monedeiro-Milanowski M, et al. Synthesis, Physicochemical Characterization, and Antibacterial Performance of Silver-Lactoferrin Complexes. *Int J Mol Sci.* 2022;23(13):7112. doi: 10.3390/ijms23137112.
- Berman TS, Barnett-Itzhaki Z, Berman T, Marom E. Antimicrobial resistance in food-producing animals: towards implementing a one health based national action plan in Israel. *Isr J Health Policy Res.* 2023;12(1):18. doi: 10.1186/s13584-023-00562-z.
- Dorgham RA, Abd Al Moaty MN, Chong KP, Elwakil BH. Molasses-Silver Nanoparticles: Synthesis, Optimization, Characterization, and Antibiofilm Activity. *Int J Mol Sci.* 2022 Sep 6;23(18):10243. doi: 10.3390/ijms231810243.
- Naskar A, Kim KS. Nanomaterials as Delivery Vehicles and Components of New Strategies to Combat Bacterial Infections: Advantages and Limitations. *Microorganisms.* 2019;7(9):356. doi: 10.3390/microorganisms7090356.
- Tang S, Zheng J. Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles: Structural Effects. *Adv Healthc Mater.* 2018;7(13):e1701503. doi: 10.1002/adhm.201701503.
- Reise M, Gottschaldt M, Matz C, Völpel A, Jandt KD, Schubert US, et al. Antibacterial effect of silver (I) carbohydrate complexes on oral pathogenic key species in vitro. *BMC Oral Health.* 2016;16:42. doi: 10.1186/s12903-016-0201-4.
- Weir E, Lawlor A, Whelan A, Regan F. The use of nanoparticles in anti-microbial materials and their characterization. *Analyst.* 2008;133(7):835-45. doi: 10.1039/b715532h.
- Yin IX, Zhang J, Zhao IS, Mei ML, Li Q, Chu CH. The Antibacterial Mechanism of Silver Nanoparticles and Its Application in Dentistry. *Int J Nanomedicine.* 2020;15:2555-2562. doi: 10.2147/IJN.S246764.
- Niska K, Knap N, Kędzia A, Jaskiewicz M, Kamysz W, Inkielewicz-Stepniak I. Capping Agent-Dependent Toxicity and Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles: An In Vitro Study. Concerns about Potential Application in Dental Practice. *Int J Med Sci.* 2016;13(10):772-782. doi: 10.7150/ijms.16011.
- Gnanadhas DP, Ben Thomas M, Thomas R, Raichur AM, Chakravorty D. Interaction of silver nanoparticles with serum proteins affects their antimicrobial activity in vivo. *Antimicrob Agents Chemother.* 2013;57(10):4945-55. doi: 10.1128/AAC.00152-13.
- Song W, Ge S. Application of Antimicrobial Nanoparticles in Dentistry. *Molecules.* 2019;24(6):1033. doi: 10.3390/molecules24061033.
- Pal S, Tak YK, Song JM. Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the Gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Appl Environ Microbiol.* 2007;73(6):1712-20. doi: 10.1128/AEM.02218-06.
- Peiris MK, Gunasekara CP, Jayaweera PM, Arachchi ND, Fernando N. Biosynthesized silver nanoparticles: are they effective antimicrobials? *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 2017;112(8):537-543. doi: 10.1590/0074-02760170023.
- Lu Z, Rong K, Li J, Yang H, Chen R. Size-dependent antibacterial activities of silver nanoparticles against oral anaerobic pathogenic bacteria. *J Mater Sci Mater Med.* 2013;24(6):1465-71. doi: 10.1007/s10856-013-4894-5.
- Monteiro DR, Silva S, Negri M, Gorup LF, de Camargo ER, Oliveira R, et al. Silver nanoparticles: influence of stabilizing agent and diameter on antifungal activity against *Candida albicans* and *Candida glabrata* biofilms. *Lett Appl Microbiol.* 2012;54(5):383-91. doi: 10.1111/j.1472-765X.2012.03219.x.

21. Holden MS, Black J, Lewis A, Boutrín MC, Walemba E, Sabir TS, et al. Antibacterial Activity of Partially Oxidized Ag/Au Nanoparticles against the Oral Pathogen *Porphyromonas gingivalis* W83. *J Nanomater*. 2016;2016:9605906. doi: 10.1155/2016/9605906.
22. Sámano-Valencia C, Martínez-Castañón GA, Martínez-Martínez RE, Loyola-Rodríguez JP, Reyes-Macías JF, Ortega-Zarzosa G, et al. Bactericide efficiency of a combination of chitosan gel with silver nanoparticles. *Materials Letters*, 2013;106(1):413–416. doi: 10.1016/j.matlet.2013.05.075
23. Espinosa-Cristóbal LF, Martínez-Castañón GA, Martínez-Martínez RE, Loyola-Rodríguez JP, Patiño-Marín N, Reyes-Macías JF, et al. Antibacterial effect of silver nanoparticles against *Streptococcus mutans*. *Materials Letters*, 2009;63(29):2603–2606. doi: 10.1016/j.matlet.2009.09.018
24. Martínez-Castañón GA, Niño-Martínez N, Martínez-Gutierrez F, Martínez-Mendoza JR, Ruiz F. Synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles with different sizes. *J Nanopart Res* 2008;10:1343–1348. doi:10.1007/s11051-008-9428-6
25. Hitchcock NM, Devequi Gomes Nunes D, Shiach J, Valeria Saraiva Hodel K, Dantas Viana Barbosa J, Alencar Pereira Rodrigues L, et al. Current Clinical Landscape and Global Potential of Bacteriophage Therapy. *Viruses*. 2023;15(4):1020. doi: 10.3390/v15041020.
26. Wang W, Chen Q, Jiang C, Yang D, Liu X, Xu S. (). One-step synthesis of biocompatible gold nanoparticles using gallic acid in the presence of poly-(N-vinyl-2-pyrrolidone). *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2007;301(1-3), 73–79. doi: 10.1016/j.colsurfa.2006.12.037
27. Borja-Borja JM, Rojas-Oviedo BS. Nanomateriales: métodos de síntesis. *Polo del Conocimiento*, 2020;5(8):426-445.
28. Evanoff DD Jr, Chumanov G. Synthesis and optical properties of silver nanoparticles and arrays. *Chemphyschem*. 2005;6(7):1221-31. doi: 10.1002/cphc.200500113.
29. Zanella, R. Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Mundo nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 2012;5(1):69-81.
30. Monge M. Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. *Anales de Química*. 2009;105(1):33-41.
31. Molina GF, Palma SD. Nanotecnología en Odontología: Aspectos generales y posibles aplicaciones. *Methodo Investigación Aplicada a Las Ciencias Biológicas*, 2018;3(3). Recuperado a partir de <https://methodo.ucc.edu.ar/index.php/methodo/article/view/79>
32. Abou Neel EA, Bozec L, Perez RA, Kim HW, Knowles JC. Nanotechnology in dentistry: prevention, diagnosis, and therapy. *Int J Nanomedicine*. 2015;10:6371-94. doi: 10.2147/IJN.S86033.
33. Akram FE, El-Tayeb T, Abou-Aisha K, El-Azizi M. A combination of silver nanoparticles and visible blue light enhances the antibacterial efficacy of ineffective antibiotics against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *Ann Clin Microbiol Antimicrob*. 2016;15(1):48. doi: 10.1186/s12941-016-0164-y.
34. Mariel Murga H, Centeno Sanchez R, Sánchez Meraz W, González Amaro AM, Arredondo Hernández R, Mariel Cárdenas J, et al. Eficacia antimicrobiana del primer ortodóncico adicionado con nanopartículas de plata. *Estudio transversal in vitro*. *Investigacion Clinica*, 2016;57(4):321–329.
35. Kushwaha V, Yadav RK, Tikku AP, Chandra A, Verma P, Gupta P, et al. Comparative evaluation of antibacterial effect of nanoparticles and lasers against Endodontic Microbiota: An in vitro study. *J Clin Exp Dent*. 2018;10(12):e1155-e1160. doi: 10.4317/jced.55076.
36. Halkai KR, Mudda JA, Shivanna V, Rathod V, Halkai R. Antibacterial Efficacy of Biosynthesized Silver Nanoparticles against *Enterococcus faecalis* Biofilm: An in vitro Study. *Contemp Clin Dent*. 2018;9(2):237-241. doi: 10.4103/ccd.ccd\_828\_17.
37. Campos V, Almaguer-Flores A, Velasco-Aria D, Díaz D, Rodil S. E. Bismuth and silver nanoparticles as antimicrobial agent over subgingival bacterial and nosocomial strains. *Journal of Materials Science and Engineering A*, 2018;8(7-8):142-146.

**COMO CITAR**

Ponce-Díaz ME, González-López BS, Robles-Bermeo NL, Sámano-Valencia C, Rodríguez-Hernández AP, Medina Solís CE. Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata para su uso en odontología. *ODONTOLOGÍA*. 30 de junio de 2024; 26(2):13-8. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/odontologia/article/view/6753>