

## REVISIÓN NARRATIVA

# Nanopartículas antimicrobianas en endodoncia: Revisión narrativa

## Antimicrobial nanoparticles in endodontics: Narrative review

Gustavo Adolfo Tovar Rangel <sup>1</sup>  | Fanny Mildred González Sáenz <sup>1</sup>  | Ingrid Ximena Zamora Córdoba <sup>1</sup>   
| Lina María García Zapata <sup>1</sup> 

### OPEN ACCESS

#### Afiliación Institucional

<sup>1</sup> Universidad del Valle, Facultad de Salud, Escuela de Odontología, Departamento de Endodoncia, Cali, Colombia.

#### Citación:

Tovar Rangel G.A., González Sáenz F.M., Zamora Córdoba I.X., García Zapata L.M. Nanopartículas antimicrobianas en endodoncia: Revisión narrativa. *Rev Estomatol.* 2023; 31(2):e13478. DOI: 10.25100/re.v31i2.13478

**Recibido:** 14 Febrero 2023

**Evaluado:** 22 Mayo 2023

**Aceptado:** 20 Noviembre 2023

**Publicado:** 30 Diciembre 2023

**Autor de correspondencia:** Gustavo Adolfo Tovar Rangel. Dirección: Calle 4c #37-33. Contacto: +573207582784. E-mail: [gustavo.tovar@correounivalle.edu.co](mailto:gustavo.tovar@correounivalle.edu.co)

#### Palabras Clave:

Cavidad pulpar dental; nanopartículas; desinfección; irrigantes de conductos radiculares; anti-infeccioso.

#### Keywords:

Dental pulp cavity; nanoparticles; disinfection; root canal irrigants; anti-infective.

### RESUMEN

**Introducción:** Las nanopartículas antimicrobianas como el grafeno, plata, quitosano, ácido poli (láctico) co glicólico, vidrio bioactivo, silicato de calcio mesoporoso, cobre, han generado resultados prometedores en diversas aplicaciones en endodoncia en la incorporación de nanopartículas en selladores, irrigantes y medicamentos intraconducto.

**Objetivo:** identificar los mecanismos de acción de las diferentes nanopartículas en la desinfección de los conductos radiculares.

**Materiales y métodos:** se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva de estudios originales en las bases de datos Medline (Pubmed), Scielo, Lilacs, Medline (Ovid), Web of science, Scopus, Embase, Google académico, eligiendo estudios *in vitro* publicados a partir del 2010 al 2021, para la selección de los artículos definitivos se utilizó la herramienta QRayaan, excluyendo fuentes de información de estudios en animales, estudios que durante el protocolo de desinfección no se usaron nanopartículas, revisiones de literatura y/o metaanálisis.

**Resultados:** se identificaron un total de 1.567 referencias y seleccionaron 17 documentos definitivos para el uso de esta revisión, cada estudio demostró un claro efecto antibacteriano y una reducción significativa antimicrobiana en la desinfección del conducto radicular.

**Conclusiones:** el uso de nanopartículas en endodoncia es una opción prometedora en la terapia del conducto radicular, todas las nanopartículas revisadas en esta investigación demostraron efectividad antimicrobiana en los conductos radiculares, se recomiendan más estudios in-vivo para determinar los efectos adversos, citotoxicidad y eficacia en diferentes tipos de microorganismos.

### ABSTRACT

**Introduction:** Antimicrobial nanoparticles such as graphene, silver, chitosan, poly (lactic) co glycolic acid, bioactive glass, mesoporous calcium silicate, copper, have generated promising results in various applications in endodontics in the incorporation of nanoparticles in sealants, irrigants and intraductal medications.

**Objective:** identify the mechanisms of action of the different nanoparticles in the disinfection of root canals.

**Materials and methods:** an exhaustive bibliographic search of original studies was carried out in the databases Medline (Pubmed), Scielo, Lilacs, Medline (Ovid), Web of science, Scopus, Embase, Google academic, choosing *in vitro* studies published from From 2010 to 2021, the QRayaan tool was used to select the definitive articles, excluding sources of information from animal studies, studies that did not use nanoparticles during the disinfection protocol, literature reviews and/or meta-analysis.

**Results:** A total of 1,567 references were identified and 17 definitive documents were selected for use in this review, each study demonstrated a clear antibacterial effect and a significant antimicrobial reduction in root canal disinfection.

**Conclusions:** the use of nanoparticles in endodontics is a promising option in root canal therapy, all nanoparticles reviewed in this research demonstrated antimicrobial effectiveness in root canals, further in-vivo studies are recommended to determine adverse effects, cytotoxicity and efficacy in different types of microorganisms.

#### Copyright:

© Universidad del Valle.



## INTRODUCCION

Una de las causas de la enfermedad endodóntica es la infección promovida por microorganismos, el objetivo básico del tratamiento de conducto es eliminarlos. Las bacterias forman biopelículas definidas como "agregados de microorganismos en los que las células a menudo están incrustadas en matrices de polímero extracelular (EPS) de producción propia que se adhieren entre sí y/o a las superficies" generando resistencia en el momento de eliminarlos, complicando aún más el tratamiento.<sup>1</sup>

La persistencia de microorganismos en el sistema de conductos radiculares, su diversidad y su alta virulencia los convierte en una de las principales causas del fracaso en los tratamientos de conducto, la desinfección química mecánica pretende eliminar la mayor cantidad de microorganismos presentes mediante el uso de diferentes soluciones como el hipoclorito de sodio (NaOCl), considerado el Gold estándar de las soluciones desinfectantes (a una concentración del 5.25%) sin embargo uno de los inconvenientes que presenta esta solución (irrigante) es su alto nivel de toxicidad, su imposibilidad de eliminar tejido inorgánico y que incluso algunos microorganismos son inmunes a sus mecanismos de acción.<sup>2</sup>

Con el fin de superar las limitaciones que se presentan con los irrigantes y medicamentos intraconducto se ha propuesto el uso de nuevas técnicas y materiales, uno de ellos las nanopartículas, que en odontología se han considerado como una estrategia novedosa en las últimas décadas debido a sus diferentes propiedades y su múltiple aplicabilidad en todos los procesos.<sup>3</sup>

Las nanopartículas pueden variar según tamaño de 1 a 100 nm, este pequeño tamaño de las partículas individuales proporciona una importante relación área superficial/volumen lo que puede hacerlas eficaces en contacto con los microorganismos.

En endodoncia, el desarrollo de nanomateriales ha permitido mejorar la eficacia antimicrobiana, la integridad mecánica de la matriz dentinaria afectada y la regeneración tisular,<sup>3</sup> ejemplo de esto son las nanopartículas de plata (AgNP), uno de los más estudiados debido a sus amplias propiedades antibacterianas que lo hace un material prometedor en la terapia del conducto radicular.<sup>4</sup> De igual manera se han utilizado nanopartículas de oro, cobre o zinc, que tienen propiedades físicas únicas y mecanismos potenciales de actividad antimicrobiana.<sup>4</sup>

Con el fin de entender un poco más sobre las nanopartículas y su aplicación en endodoncia se realizó una revisión de literatura que permitió analizar los diferentes mecanismos de acción en la desinfección del conducto radicular para entender cómo funcionaban y cuál era su aplicabilidad clínica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Búsqueda de literatura

Se realizó una búsqueda exhaustiva de estudios originales en las bases de datos Medline (Pubmed), Scielo, Lilacs, Medline (Ovid), Web of science, Scopus, Embase Google académico; empleando lenguaje controlado por medio de los tesauros; también se usaron palabras claves en lenguaje natural, en los campos de título y abstract tales como: Dental pulp cavity, nanoparticles, disinfection, root Canal irrigants, anti-Infective.

### Selección de estudios y extracción de datos

Dos investigadores (GATR-FMGS) realizaron la filtración de los estudios arrojados en las estrategias de búsqueda a través de los títulos y resúmenes aplicando los criterios de selección definidos tales como: artículos publicados a partir del año 2010 al 2021, estudios in vitro en

dientes permanentes humanos que hicieran uso de nanopartículas para la desinfección de conductos radiculares y sus diferentes mecanismos de acción.

**Tabla I.** Ecuaciones utilizadas para cada base de datos.

Base de datos	Estrategia de búsqueda
PUBMED	((Dental Pulp Cavity) AND (Nanoparticles)) AND (Disinfection OR Root Canal Irrigation OR Anti-Infective Agents)-(("Dental Pulp Cavity"[Mesh]) AND ("Nanoparticles"[Mesh])) AND (((("Disinfection"[Mesh]) OR "Root Canal Irrigants"[Mesh]) OR "Anti-Infective Agents"[Mesh]))
EMBASE	('dental pulp cavity'/exp OR 'dental pulp cavity' OR (('dental'/exp OR dental) AND ('pulp'/exp OR pulp) AND cavity)) AND ('nanoparticles'/exp OR nanoparticles) AND ('disinfection'/exp OR disinfection) OR 'root canals irrigants' OR (('root'/exp OR root) AND canals AND irrigants)
LILACS	(dental pulp cavity OR cavity, dental pulp OR pulp cavities, dental OR pulp cavity, dental OR cavities, dental pulp OR dental pulp cavities) AND (nanoparticles OR nanoparticle OR nanocrystalline materials OR material, nanocrystalline OR material nanocrystalline OR nanocrystalline material) AND (root canal irrigants OR canal irrigation OR root OR canal irrigants, root OR irrigant, root canal OR irrigants, root canal OR root canal irrigant) AND ( db:("LILACS"))
MEDLINE (OVID)	Dental Pulp Cavity and Nanoparticles and (Disinfection or Root Canal Irrigants or Anti-Infective Agents)
SCIELO	(conductos radiculares) AND (nanopartículas) AND (desinfección)
Google Académico	Dental Pulp Cavity AND Nanoparticles AND Disinfection OR Root Canal Irrigants AND Anti-Infective Agents
Web of Science	((ALL=(Dental Pulp Cavity )) AND ALL=(Nanoparticles)) OR ALL=(Disinfection OR ALL=(Root Canal Irrigants )) OR ALL=(Anti-Infective Agents)
SCOPUS	nanopartículas AND desinfección OR root AND canal AND irrigants

### Selección de estudios y extracción de datos

Dos investigadores (GATR-FMGS) realizaron la filtración de los estudios arrojados en las estrategias de búsqueda a través de los títulos y resúmenes aplicando los criterios de selección definidos tales como: artículos publicados a partir del año 2010 al 2021, estudios in vitro en dientes permanentes humanos que hicieran uso de nanopartículas para la desinfección de conductos radiculares y sus diferentes mecanismos de acción.

Se identificaron las citas duplicadas a través de la Herramienta QRayyan. Los revisores se reunieron una vez por semana para comparar información y documentos seleccionados para resolver discrepancias a través de la discusión. Los artículos seleccionados fueron leídos a texto completo, aquellos artículos pasaron los dos filtros utilizados para extraer la información por medio de una plantilla que contenía los datos de autor, año de publicación, mecanismo de acción, presentación (% de concentración) y resultados (**Tabla 2**).

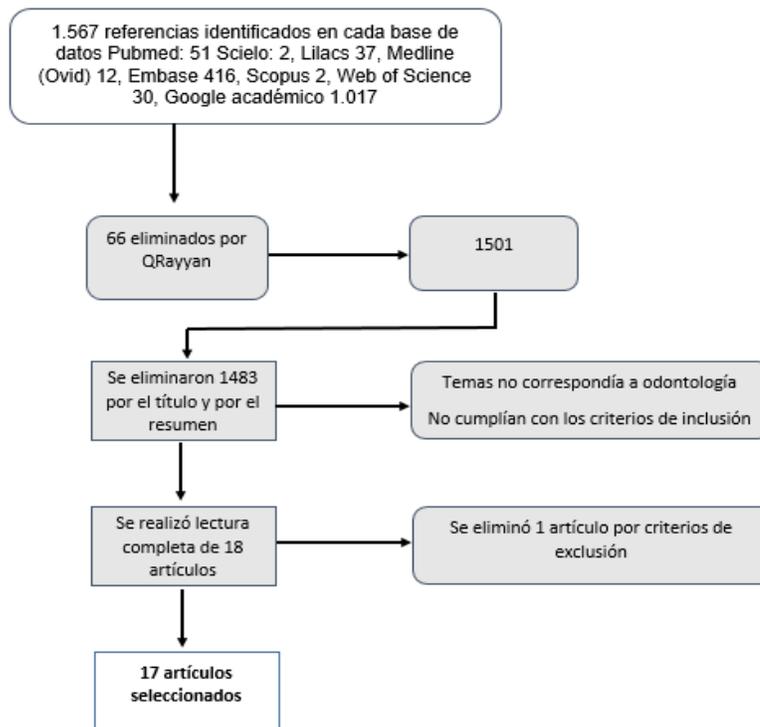
La calidad de todos los artículos seleccionados para lectura de texto completo se evaluó utilizando la herramienta ARRIVE, que incluye las directrices CONSORT para investigaciones in vitro, esto fue tomado de un estudio publicado previamente.<sup>5</sup> La evaluación se basó en un sistema de clasificación predefinido de la lista de verificación para estudios In vitro. Se tuvo en cuenta que un artículo con una puntuación inferior a 28, tiene una probabilidad de sesgo. Un estudio que obtuvo menos de 20 puntos se consideró de baja calidad, entre 20 y 24 puntos se consideró de calidad media y entre 25 y 28 puntos se consideró de alta calidad.

## RESULTADOS

### Estrategia de búsqueda

El esquema de selección se resume en un diagrama de flujo (Figura 1), se obtuvieron 1.567 referencias, todas las referencias fueron almacenadas en la herramienta QRayyan, el programa eliminó 66 por duplicados. 1.483 artículos se eliminaron porque no cumplían con los criterios de inclusión, 18 artículos fueron seleccionados para evaluación de texto completo, entre ellos se eliminó 1 artículo por criterios de exclusión, dejando finalmente 17 documentos para ser utilizados en esta revisión.

**Figura 1.** Diagrama de flujo de la búsqueda y selección de artículos para la revisión narrativa.



### Características de los estudios seleccionados

De los 17 estudios en esta revisión, el 88,2 % fueron publicados entre el año 2016 y 2021, los diferentes tipos de nanopartículas tales como, nanopartículas de plata, quitosano, propóleo, nanopartículas mesoporosas de silicato de calcio (MCSN), en cada artículo seleccionado; mostraron un claro efecto antibacteriano y una reducción significativa antimicrobiana en la desinfección del conducto radicular.

**Tabla 2.** Extracción de datos de los artículos seleccionados.

Autor-año	Mecanismo de acción de la nanopartícula	Presentación (concentración %)	Resultados
Pedro G. y col. 2016	Nanopartículas de plata tienen características antiinflamatorias,modulación de citosinas	nanopartículas de plata de 10 nm preparadas con ácido gálico	Las nanopartículas de plata de 10 nm preparadas utilizando ácido gálico como agente reductor presentan un efecto bactericida.
Abhishek P. y col. 2021	El propóleo crudo se compone de aceites aromáticos y resinas, el de estas nanopartículas en endodoncia generan mayor estabilidad del fármaco, eficacia del tratamiento y presentan el poder de penetración en comparación con una solución de fármaco puro.	nanopartícula de propóleo 100 µg/mL- nanopartícula de propóleo 300 µg/mL	NP a 300 como irrigante endodóntico fue tan eficaz como NaOCl al 6 % y CHX al 2 % para reducir las UFC de E. faecalis
Diya L. y col. 2020	Las nanopartículas mesoporosas de silicato de calcio (MCSN) de tamaño nanométrico pueden infiltrarse en las bacterias y liberar continuamente iones de calcio (Ca 2+) e iones de silicio (SiO 4 4-), creando un microambiente alcalino débil para lograr efectos antibacterianos	Ag/Zn-MCSN1:9 nitrato de plata 0,238 gramos y nitrato de zinc 3,75 gramos Ag/Zn-MCSN 9:1 nitrato de plata 2,14g y nitrato de zinc	Los Ag/Zn-MCSN liberan Ag + y destruyen las membranas celulares para matar bacterias
Hakan A. y col. 2020	En la TFD se utilizan agentes fotosensibilizadores (AFS) no tóxicos, como el azul de toluidina (ATO), y la irradiación a una longitud de onda adecuada,el fotosensibilizador, que se activa por irradiación, reacciona con el oxígeno molecular para producir especies de oxígeno altamente reactivas (ROS), que provocan el daño y la muerte de las bacterias	concentraciones de 20 ppm de TBO y 10 ppm de AgNPs	La aplicación de luz en la combinación de TBO/AgNP fue el grupo que proporcionó la mayor reducción bacteriana después de NaOCl.
Farzaneh A. y col. 2016	Las nanopartículas de plata (AgNP) también se pueden utilizar para la desinfección debido a sus propiedades antimicrobianas óptimas. Son efectivos contra muchos	5 ml de AgNP (100 ppm) TFD convencional con ICG (fotosensibilizador	La mayor reducción en el recuento de colonias (99,12 %) se observó en el grupo AN/ICG/DL (AgNPs/ICG/láser de diodo de 810 nm);

	microorganismos incluyendo <i>E. faecalis</i>	verde de indocianina) (1 mg/mL)	
Nehal Nabil R. y col. 2018	El quitosano tiene propiedad antimicrobianas de amplio espectro y está asociado con altas características quelantes, por lo que su uso en endodoncia es de interés, las nanopartículas muestran una mejor actividad antibacteriana debido a su naturaleza policatiónica/polianiónica con su alta área superficial y densidad de carga.	Grupo 1: 5 ml de CNP al 3 % (NanoStreams-Egypt; NS0115) Grupo 2: los canales se irrigaron con 5 ml de CNP al 3%.	El NaOCl al 2,5 % o el CNP en combinación con la irradiación con láser de diodo mostraron un efecto alto similar en la erradicación bacteriana
Seyedeh H. y col. 2021	Las nanopartículas de plata tienen un efecto destructivo sobre unos 650 microorganismo, los láseres de diodo pueden penetrar fácilmente en conductos curvos debido a sus fibras flexibles y de pequeño tamaño, los láseres de diodo interfieren ligeramente con el agua y la hidroxiapatita	Suspensión de nanopartículas de plata de 100 ppm y radiación de láser de diodo de 940 nm	La mayor eliminación bacteriana (100%) correspondió al grupo de hipoclorito de sodio, mientras que la menor reducción se reportó en el grupo de láser de diodo
Josiane de A. y col. 2018	Las nanopartículas de plata se unen a la membrana celular y alteran la permeabilidad celular. afectando así el sistema de transporte a través de la membrana plasmática	Solución 1% Ag Np y solución 26% ZnO Np (nanopartículas de plata y óxido de zinc)	Dentro de los parámetros del presente estudio y sin importar sus limitaciones, 1% Ag Np y 26% ZnO Np fueron capaces de reducir la biopelícula de <i>E. faecalis</i> en los conductos radiculares
Balvir M. y col. 2020	Las nanopartículas de plata tienen actividad bactericida para combatir una amplia gama de microorganismos porque actuar sobre múltiples funciones celulares en la célula bacteriana, interactuando con los grupos sulfhidrilo de varias proteínas, así como con el ADN	gel de Ag-NP con carbómero, con dos concentraciones finales a 300 y 500 µg/mL correspondiente a 18 µg/mL y 30 µg/mL de Ag <sub>0</sub>	Se observó un claro efecto antibacteriano con las diversas concentraciones de Ag-NP en los diferentes tiempos.
Farzaneh A. y col. 2021	La nanoplatina es altamente tóxica para las bacterias, mientras que es segura para las células y tejidos humanos, excepto en concentraciones muy altas, Estas partículas tienen carga positiva y su mecanismo de acción es por reacción con los grupos	5 mL de AgNPs solución	Una reducción significativa de <i>E. faecalis</i> en los conductos radiculares

	sulfonilo presentes en las proteínas y el ADN. Abren la secuencia de ADN		
Keskin N. y col. 2021	Nanopartículas de quitosano (CNP) que mejoran las propiedades mecánicas y químicas de la solución de quitosano, las adiciones se pueden hacer a los grupos hidroxilo y amino libres en las cadenas de polímero.	nanopartículas de quitosano suspensión n (0,375 %, p/v)	Los CU-CNP tienen una alta eficacia antibacteriana ya que tienen un alto nivel de carga superficial que aumenta la afinidad con la membrana de las bacterias cargadas negativamente
Ting L. y col. 2021	Se ha informado que las AgNP desestabilizan las bacterias membranas, lo que aumenta su permeabilidad y, por lo tanto, provoca la desintegración de la membrana bacteriana	nanopartícula de plata de 21.6 nm El gel de poloxámero	La actividad antibacteriana de 16 µg/mL y 32 µg/mL AgNPs-PL a <i>E. faecalis</i> en el conducto radicular principal y túbulo dentinario, fue significativamente mayor que el de CH
Abhishek P. y col. 2020	índice de polidispersidad igual a uno significa que una solución tiene una distribución amplia y variable del tamaño de las nanopartícula se encontró que la eficiencia de encapsulación de CPN es del 88%, lo que representa la capacidad de transporte de fármacos de las nanopartículas.	se utilizó CPN (0,2% p/v de quitosano y 1 mg/ml de propóleo) con un tamaño de partícula promedio de 107,74±0,53 nm	Los tratamientos de quitosano, P 100, P 250, CPN 100, CPN 250, CHX al 2% redujeron significativamente las UFC en comparación con la solución salina (p < 0,05).
Kushwaha V. y col. 2018	Las nanopartículas son partículas de tamaño muy pequeño que tienen una mayor superficie y ejercen su efecto antimicrobiano al interactuar con la pared celular bacteriana cargada negativamente.	Concentración de 100 ppm y un tamaño de partícula promedio de 20 nm (nanopartículas de oro) 100 ppm y un tamaño de partícula promedio de 20 nm (nanopartículas de plata)	La mayor reducción en las UFC se observó con la combinación del grupo de láseres AgNP y Nd: YAG
Tom C. y col. 2010	1) Una masa crítica más grande (paquete concentrado de fotosensibilizador) para la producción de especies reactivas de oxígeno que destruyen las células, 2) Limitar la capacidad de la célula objetivo para bombear la molécula del fármaco hacia afuera, reduciendo así la posibilidad	nanopartículas de PEO-PLGA osciló entre 100 y 250 nm	El sinergismo de nanopartículas ligeras y cargadas con MB condujo a aproximadamente 2 y 1 reducción de unidades formadoras de colonias en fase planctónica y conductos radiculares

	de múltiples -resistencia al fármaco, 3) Selectividad de tratamiento por agentes de liberación localizados, que puede lograrse mediante direccionamiento pasivo o direccionamiento activo a través de la superficie cargada de la nanopartícula, y 4) La matriz de la nanopartícula no es inmunogénica		
Seyyed J. y col. 2016	Las AgNP se adhieren a la pared celular de la bacteria y penetrar en la célula y causar la desintegración y el aumento de la permeabilidad de la célula bacteriana membrana	suspensión de AgNPs de 100 ppm (tamaño promedio de nanopartículas = 20 nm)	AgNPs fue más eficaz en el E.faecalis biopelícula que otros vehículos probados en la medicación a corto plazo
Beatriz R. y col. 2021	Los CuNP pueden penetrar en la pared celular bacteriana y provocar daños celulares. En la célula, las nanopartículas alteran indirectamente la síntesis de ADN o proteínas, inactivar sus enzimas y promueven la generación de peróxido de hidrógeno	nanopartículas 20 y 60 nm	Todos los grupos tratados por 1 día o más mostraron actividad antimicrobiana ya que se observó una disminución de bacterias en el conducto radicular.

### **Evaluación de calidad de los artículos**

Los estudios incluidos en esta investigación presentaron la información precisa del instrumento de evaluación, por lo tanto, el 95% que corresponde a 16 artículos fueron calificados con una calidad alta y solo un artículo restante que equivale a un 5 % se evaluó con calidad media, ya que no se obtuvo información clara y suficiente en la introducción y resumen.

En los 17 artículos seleccionados se identificó que los mecanismos de acción de las nanopartículas en la desinfección de los conductos radiculares utilizadas en endodoncia con fines antibacterianos fueron:

#### **Interacción electrostática**

La fuerza electromagnética es la interacción que se da entre cuerpos que poseen carga eléctrica. Es una de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza, cuando las cargas están en reposo, la interacción entre ellas se denomina fuerza electrostática.<sup>6</sup>

Según los estudios de Hakan y Col. y Farzaneh A. Col. Existe una atracción entre la nanopartícula cargada positivamente y la bacteria en su membrana celular negativamente, ocasionando que haya un acumulo de nanopartículas en la superficie celular, aumentando la permeabilidad y desencadenando un rompimiento en la membrana, con una salida del contenido celular bacteriano. Las nanopartículas también afectan la respiración, replicación y división celular, siendo efectivas contra muchos microorganismos incluyendo *E. faecalis*.<sup>7,8</sup>

#### **Homeostasis metálica**

La homeostasis es una propiedad de los organismos que consiste en su capacidad de mantener una condición interna estable compensando los cambios en su entorno mediante el intercambio regulado de materia y energía con el exterior.<sup>9</sup>

Según el artículo de Keskin N. y Col. Refieren que las nanopartículas afectan el equilibrio de iones metálicos en el interior de la bacteria ocasionando su muerte por un excesivo aumento de nanopartículas metálicas interrumpiendo este proceso de regulación.<sup>10</sup>

#### **Producción de especies oxígeno reactivas**

Se refiere a un grupo de moléculas con oxígeno con diferente reactividad química. Se les considera como metabolitos del oxígeno parcialmente reducidos que poseen una fuerte capacidad oxidante, aunque dicha capacidad varía entre las diferentes especies.<sup>11</sup>

Josiane y Col, refiere que las nanopartículas ocasionan una liberación ROS (especies de oxígeno reactivas) y cuando este nivel es mayor que el de defensa del microorganismo se ocasiona un estrés oxidativo causando que se active la apoptosis, disminuyendo la producción de ATP y la respiración celular.<sup>12</sup>

#### **Disfunción de proteínas y enzimas**

Es el trastorno o alteración en la producción de enzimas y proteínas necesarias para el funcionamiento del organismo.<sup>13</sup>

Según el artículo de Ting L. y Col refieren que las nanopartículas promueven la formación de carbonilos los cuales ocasionan la inhibición de algunas enzimas y la síntesis de proteínas provocando la desintegración de la membrana bacteriana.<sup>14</sup>

## Genotoxicidad

Es la capacidad para causar daño al material genético por agentes físicos, químicos o biológicos; el daño en el material genético incluye no sólo al ADN, sino también a todos aquellos componentes celulares que se encuentran relacionados con la funcionalidad y comportamiento de los cromosomas dentro de la célula.<sup>15</sup>

Según el artículo de Beatriz R. y Col, refiere que las nanopartículas tienen una capacidad de daño en el material genético, ya que por sus características eléctricas pueden interactuar con el ácido nucleico y afecta la replicación del ADN cromosómico en la transducción de señales.<sup>16</sup>

Los tipos de nanopartículas y sus mecanismos de acción que existen para la desinfección de conductos radiculares según la revisión realizada son:

1. Nanopartículas de plata.
2. Nanopartículas de propóleo
3. Nanopartículas de quitosano
4. Nanopartículas de poli (ácido láctico-co-glicólico) (PLGA)
5. Nanopartículas de cobre
6. Nanopartículas de silicato de calcio

En los estudios revisados sobre las nanopartículas de plata se establece que sus mecanismos de acción son por medio de interacción electrostática, homeostasis metálica, producción de especies oxígeno reactivas, disfunción de proteínas y enzimas y genotoxicidad. En el estudio revisado sobre las nanopartículas de propóleo se establece que su mecanismo de acción es de interacción electrostática. Los estudios de nanopartículas de quitosano establecen que el mecanismo de acción es interacción electrostática y producción de especies oxígeno reactivas. En el estudio revisado sobre las nanopartículas de poli (ácido láctico-co-glicólico) (PLGA) se establece que su mecanismo de acción es: interacción electrostática, homeostasis metálica, producción de especies oxígeno reactivas, disfunción de proteínas y enzimas y genotoxicidad. En el estudio revisado sobre las nanopartículas de cobre se establece que sus mecanismos de acción son: Interacción electrostática, homeostasis metálica, producción de especies oxígeno reactivas, disfunción de proteínas y enzimas y genotoxicidad.

Los diferentes tipos de nanopartículas usadas actualmente en la desinfección de conductos radiculares son y estos son los usos reportados en la literatura:

Nanopartículas de plata.	Irrigante intraconducto
Nanopartículas de propóleo	Irrigante intraconducto
Nanopartículas de quitosano	Irrigante intraconducto
Nanopartículas de poli (ácido láctico-co-glicólico) (PLGA)	Medicamento intraconducto.
Nanopartículas de cobre	Medicamento intraconducto.
Nanopartículas de silicato de calcio	Agente sellador.

Según la revisión realizada no se reportan efectos adversos que se pueden generar por el uso de nanopartículas para la desinfección de los conductos radiculares.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los hallazgos que se encontraron en esta revisión permiten concluir. Que los mecanismos de acción de las nanopartículas en endodoncia son: Interacción electrostática, homeostasis metálica, producción de especies oxígeno reactivas, disfunción de proteínas y enzimas y genotoxicidad.

Los usos de estas nanopartículas son:

- Solución irrigante (nanopartículas de plata, nanopartículas de propóleo, nanopartículas de quitosano).
- Medicamento intraconducto (nanopartículas de poli (ácido láctico-co-glicólico) (PLGA) y de cobre).
- Agente sellador (nanopartículas de silicato de calcio).

No se reportan efectos adversos en la revisión realizada, pero los estudios anteriormente analizados recomiendan más investigaciones acerca de este tema.

El uso de nanopartículas en endodoncia se ha convertido en una opción prometedora en la terapia del conducto radicular, pero se recomienda más estudios in-vivo para determinar los efectos adversos, citotoxicidad y eficacia en diferentes tipos de microorganismos. Es importante determinar la penetrabilidad de las nanopartículas en los túbulos dentinarios y los cambios que se pueden generar en la fuerza de unión con los materiales selladores, la disponibilidad de las nanopartículas en los conductos, así como reacción en el tiempo, el camino en investigación aún es amplio, pero prometedor y requiere de una línea de investigación específica.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Raura N, Garg A, Arora A, Roma M. Nanoparticle technology and its implications in endodontics : a review. 2020;1–8.
2. Mohammadi Z. Sodium hypochlorite in endodontics : an update review. 2008;329–41.
3. Article R. Antibacterial Nanoparticles in Endodontics : 2016;42(10):1417–26
4. Oncu A, Huang Y, Amasya G, Sevimay FS, Orhan K, Celikten B. Silver nanoparticles in endodontics: recent developments and applications. Restor Dent Endod. 2021;46(3):1–13.
5. Ramamoorthi M, Bakkar M, Jordan J, Tran SD. Osteogenic Potential of Dental Mesenchymal Stem Cells in Preclinical Studies : A Systematic Review Using Modified ARRIVE and CONSORT Guidelines. 2015;2015
6. Afkhami F, Akbari S, Chiniforush N. Entrococcus faecalis Elimination in Root Canals Using Silver Nanoparticles , Photodynamic Therapy , Diode Laser , or Laser-activated Nanoparticles : An In Vitro Study. J Endod [Internet]. 2016;10–3. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2016.08.029>
7. Nanoparticles B, Shrestha A, Kishen A. Antibiofilm Efficacy of Photosensitizer-functionalized. J Endod [Internet]. 2014;1–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2014.03.009>
8. González-Luna PI, Martínez-Castanon GA, Zavala-Alonso NV, Patiño-Marin N, Niño-Martínez N, Morán-Martínez J, et al. Bactericide Effect of Silver Nanoparticles as a Final Irrigation Agent in Endodontics on Enterococcus faecalis: An Ex Vivo Study. J Nanomater. 2016;2016.
9. Wang D, Lin Z, Wang T, Yao Z, Qin M, Zheng S, et al. Where does the toxicity of metal oxide nanoparticles come from: The nanoparticles, the ions, or a combination of both? J Hazard Mater [Internet]. 2016;308:328–34. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.01.06>

10. Keskin NB, Aydın ZU, Uslu G, Özyürek T, Erdönmez D, Gündoğar M. Antibacterial efficacy of copper-added chitosan nanoparticles: a confocal laser scanning microscopy analysis. *Odontology* [Internet]. 2021;109(4):868–73. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10266-021-00613-4>
11. Facility N. Cover story. 2001;131(November 2000):1559–65- Nanodentistry R A Freitas Jr
12. Almeida J, Cechella B, Bernardi A, Pimenta A, Felippe W. Effectiveness of nanoparticles solutions and conventional endodontic irrigants against *Enterococcus faecalis* biofilm 2018; 29-3
13. Aggarwal P, Hall JB, McLeland CB, Dobrovolskaia MA, McNeil SE. Nanoparticle interaction with plasma proteins as it relates to particle biodistribution, biocompatibility and therapeutic efficacy. *Adv Drug Deliv Rev* [Internet]. 2009;61(6):428–37. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2009.03.009>
14. Liu T, Aman A, Ainiwaer M, Ding L, Zhang F, Hu Q, et al. Evaluation of the anti-biofilm effect of poloxamer-based thermoreversible gel of silver nanoparticles as a potential medication for root canal therapy. *Sci Rep* [Internet]. 2021;11(1):1–16. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92081-7>
15. Giannousi K, Lafazanis K, Arvanitidis J, Pantazaki A, Dendrinou-Samara C. Hydrothermal synthesis of copper based nanoparticles: Antimicrobial screening and interaction with DNA. *J Inorg Biochem* [Internet]. 2014;133:24–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2013.12.009>
16. Rojas B, Soto N, Villalba M, Bello-Toledo H, Meléndrez-Castro M, Sánchez-Sanhueza G. Antibacterial activity of copper nanoparticles (Cunps) against a resistant calcium hydroxide multispecies endodontic biofilm. *Nanomaterials*. 2021;11(9).