



REVISIÓN

Evaluation of internal and external factors for clinical applications of biogenic metallic nanoparticles in dentistry

Evaluación de factores internos y externos para las aplicaciones clínicas de nanopartículas metálicas biogénicas en odontología

Ponce Reyes Nathalie Steffy¹  , Grijalva Palacios Miryan Margarita¹  , Grijalva Bueno Antonella¹  

¹Universidad Regional Autónoma de Los Andes UNIANDES, Ibarra, Ecuador.

Citar como: Ponce Reyes NS, Grijalva Palacios MM, Grijalva Bueno A. Evaluation of internal and external factors for clinical applications of biogenic metallic nanoparticles in dentistry. Salud, Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias. 2024; 3:.1001. <https://doi.org/10.56294/sctconf2024.1001>

Enviado: 12-02-2024

Revisado: 08-05-2024

Aceptado: 03-09-2024

Publicado: 04-09-2024

Editor: Dr. William Castillo-González 

Autor para la correspondencia: Ponce Reyes Nathalie Steffy 

ABSTRACT

The study explored the use and clinical applications of biogenic metallic nanoparticles synthesized by green methods in dentistry. It focused on evaluating the internal and external factors that influence their efficacy and application, with the aim of identifying both the opportunities and limitations of these emerging technologies in the dental field. A systematic literature review was conducted following the PRISMA procedure. 19 scientific articles published between 2018 and 2023, obtained from the PubMed and Scopus databases, were analyzed. The articles were selected based on specific inclusion and exclusion criteria. In addition, a SWOT analysis was conducted with the help of five dental experts to assess the factors affecting the implementation and impact of metallic nanoparticles. The analysis revealed that the weaknesses identified in the application of metallic nanoparticles had a greater weight than the strengths, indicating the need to develop defensive strategies to address the weaknesses. Opportunities outweighed threats, suggesting that the positive aspects of nanomaterials could be amplified to mitigate negative impacts. It was concluded that continued research and optimization of green synthesis methods is crucial to improve clinical efficacy and reduce negative impacts. It was suggested that future research focus on refining these processes and further evaluating the clinical applications of these materials.

Keywords: Green Methods; Dentistry; Biogenic Synthesis; SWOT Analysis.

RESUMEN

El estudio exploró el uso y las aplicaciones clínicas de las nanopartículas metálicas biogénicas sintetizadas mediante métodos verdes en odontología. Se enfocó en evaluar los factores internos y externos que influyen en su eficacia y aplicación, con el objetivo de identificar tanto las oportunidades como las limitaciones de estas tecnologías emergentes en el campo odontológico. Se realizó una revisión sistemática de la literatura siguiendo el procedimiento PRISMA. Se analizaron 19 artículos científicos publicados entre 2018 y 2023, obtenidos de las bases de datos PubMed y Scopus. Los artículos fueron seleccionados con base en criterios de inclusión y exclusión específicos. Además, se llevó a cabo un análisis DAFO con la ayuda de cinco expertos en odontología para evaluar los factores que afectan la implementación y el impacto de las nanopartículas metálicas. El análisis reveló que las debilidades identificadas en la aplicación de nanopartículas metálicas tuvieron un mayor peso que las fortalezas, lo que indica la necesidad de desarrollar estrategias defensivas para abordar las debilidades. Las oportunidades superaron a las amenazas, lo que sugirió que los aspectos positivos de los nanomateriales podrían ser amplificados para mitigar los impactos negativos. Se concluyó que es crucial continuar con la investigación y optimización de métodos de síntesis verdes para mejorar

la eficacia clínica y reducir los impactos negativos. Se sugirió que futuras investigaciones se enfoquen en perfeccionar estos procesos y en evaluar más detalladamente las aplicaciones clínicas de estos materiales.

Palabras clave: Métodos Verdes; Odontología; Síntesis Biogénica; Análisis DAFO.

INTRODUCCIÓN

La nanotecnología es un área científica que se enfoca en el estudio y manipulación de materiales a escala nanométrica, es decir, aquellos con dimensiones que oscilan entre 1 y 100 nanómetros. Las nanopartículas son pequeñas partículas sólidas que poseen características físicas y químicas únicas debido a su tamaño diminuto. Estas propiedades, que incluyen una gran superficie en relación con su masa y una reactividad mejorada, las convierten en herramientas prometedoras para aplicaciones en terapia antimicrobiana. La funcionalización de las nanopartículas, mediante la adición de diversos grupos funcionales, puede potenciar sus propiedades y expandir sus usos en sectores industriales, médicos y dentales.⁽¹⁾

Sin embargo, la producción convencional de nanomateriales metálicos presenta desafíos significativos. Según Rónavári et al.⁽²⁾, el proceso tradicional de fabricación no solo implica el uso de químicos tóxicos, que representan una carga ambiental considerable, sino que también puede afectar negativamente la biocompatibilidad de las nanopartículas y limitar sus aplicaciones potenciales. Esta preocupación ha impulsado la búsqueda de métodos alternativos que reduzcan el impacto ambiental y mejoren la sostenibilidad en la producción de nanomateriales.

En este contexto, los métodos de síntesis verde, que emplean recursos naturales para la producción de nanopartículas, han emergido como una solución ecológica. Yadi et al.⁽³⁾ destacan que los polifenoles vegetales, conocidos por sus potentes propiedades antioxidantes, ofrecen una vía prometedora para la producción de nanopartículas. Estos fitoquímicos no solo actúan como reductores naturales en el proceso de síntesis, sino que también estabilizan las nanopartículas, mejorando su calidad y estabilidad. La utilización de extractos vegetales para la síntesis de nanopartículas no solo representa una alternativa más sostenible y menos contaminante que los métodos tradicionales, sino que también promete una producción más eficiente y ecológica, alineada con las tendencias actuales hacia un desarrollo tecnológico más respetuoso con el medio ambiente.

Numerosos estudios han demostrado la amplia aplicación de nanosistemas médicos en la odontología, donde se emplean para una variedad de propósitos, tales como la prevención, el pronóstico, el tratamiento, así como la regeneración y reparación de tejidos dentales. Los nanomateriales cosméticos bucales se encuentran en productos como pastas dentales y enjuagues bucales, los cuales están diseñados para mejorar la salud bucal. Además, nanopartículas se incorporan en diversos cosméticos dentales para abordar problemas como la sensibilidad dental y la remineralización del esmalte.

La fitoterapia ha sido una opción tradicional para tratar problemas dentales durante mucho tiempo. Según Yazdanián et al.⁽⁴⁾, el desarrollo de formulaciones que utilizan nanopartículas de origen vegetal ha supuesto un avance significativo en el campo de la odontología. La síntesis de nanopartículas biometálicas, utilizando extractos de plantas, ha demostrado ser eficaz para superar las limitaciones de los tratamientos herbales convencionales. Los estudios han indicado que la producción ecológica de nanopartículas biometálicas, como las de plata, oro y hierro, a partir de extractos vegetales, ofrece beneficios superiores en el tratamiento de diversas enfermedades bucales en comparación con los materiales tradicionales.

Este trabajo tiene como objetivo explorar el uso y las aplicaciones clínicas de las nanopartículas metálicas biogénicas sintetizadas a través de métodos verdes en odontología, centrándose en la evaluación de factores internos y externos que influyen en su eficacia y aplicación.

MÉTODO

Para llevar a cabo el estudio, se empleó el procedimiento PRISMA, el cual permitió analizar información de estudios publicados entre 2018 y 2023, los cuales fueron obtenidos a partir de búsquedas electrónicas en las bases de datos PubMed y Scopus. La selección de los artículos se basó en criterios específicos de inclusión y exclusión.

Los criterios de inclusión establecieron que los artículos debían estar redactados en inglés o español, ser publicaciones del período 2018-2023, provenir de revistas científicas de alto impacto, y estar estrechamente relacionados con el tema de investigación. Por otro lado, los artículos fueron excluidos si no se pudo acceder a su contenido, si no eran útiles para el estudio, si fueron publicados fuera del período especificado o si eran duplicados.

Una vez recopilada la información relevante, se procedió a la identificación de factores internos y externos de interés. Para profundizar en el análisis de estos factores y comprender mejor las posibilidades reales de esta tecnología en el campo de la odontología, se realizó un análisis DAFO.

El análisis DAFO, también conocido como análisis SWOT, es una herramienta estratégica utilizada para evaluar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de un proyecto, organización o tecnología. Su

objetivo es proporcionar una visión comprensiva del contexto interno y externo que afecta a la entidad en cuestión. Las fortalezas y debilidades se refieren a aspectos internos, donde las fortalezas son características positivas que ofrecen ventajas competitivas, y las debilidades son limitaciones o áreas de mejora que pueden perjudicar el desempeño. Por otro lado, las oportunidades y amenazas se relacionan con factores externos; las oportunidades son condiciones favorables en el entorno que pueden aprovecharse para obtener beneficios, mientras que las amenazas son riesgos o desafíos externos que pueden impactar negativamente.

El proceso de análisis DAFO implica la recopilación y evaluación de información relevante sobre la entidad en estudio. Esta información se clasifica en las cuatro categorías mencionadas para identificar los aspectos más críticos que deben ser abordados. La identificación de fortalezas permite maximizar los recursos y capacidades, mientras que la comprensión de las debilidades facilita el desarrollo de estrategias para mitigarlas. Las oportunidades brindan una guía para la exploración de nuevos mercados o innovaciones, y el reconocimiento de amenazas ayuda a anticipar problemas potenciales y planificar respuestas adecuadas.

Este análisis se llevó a cabo con la colaboración de cinco expertos en odontología con amplia experiencia en el área de estudio. La metodología empleada para el análisis DAFO incluyó la revisión exhaustiva de los datos y la discusión con los expertos para evaluar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas asociadas con el uso de nanopartículas biogénicas en odontología.

Los métodos y técnicas de investigación utilizados fueron descritos con detalle para asegurar la repetibilidad del estudio. Esto incluyó la forma en que se recopiló la información, los criterios de selección de los artículos, y los procedimientos para el análisis de los datos. Esta aproximación sistemática permitió obtener una visión clara y precisa de la aplicación de nanopartículas metálicas biogénicas en la práctica odontológica y su potencial impacto en el campo.

RESULTADOS

Los resultados se presentan en función de los criterios de inclusión y exclusión planteados en la metodología, en acuerdo con las fases del procedimiento PRISMA, los cuales se describen en la figura 1 y tabla 1.

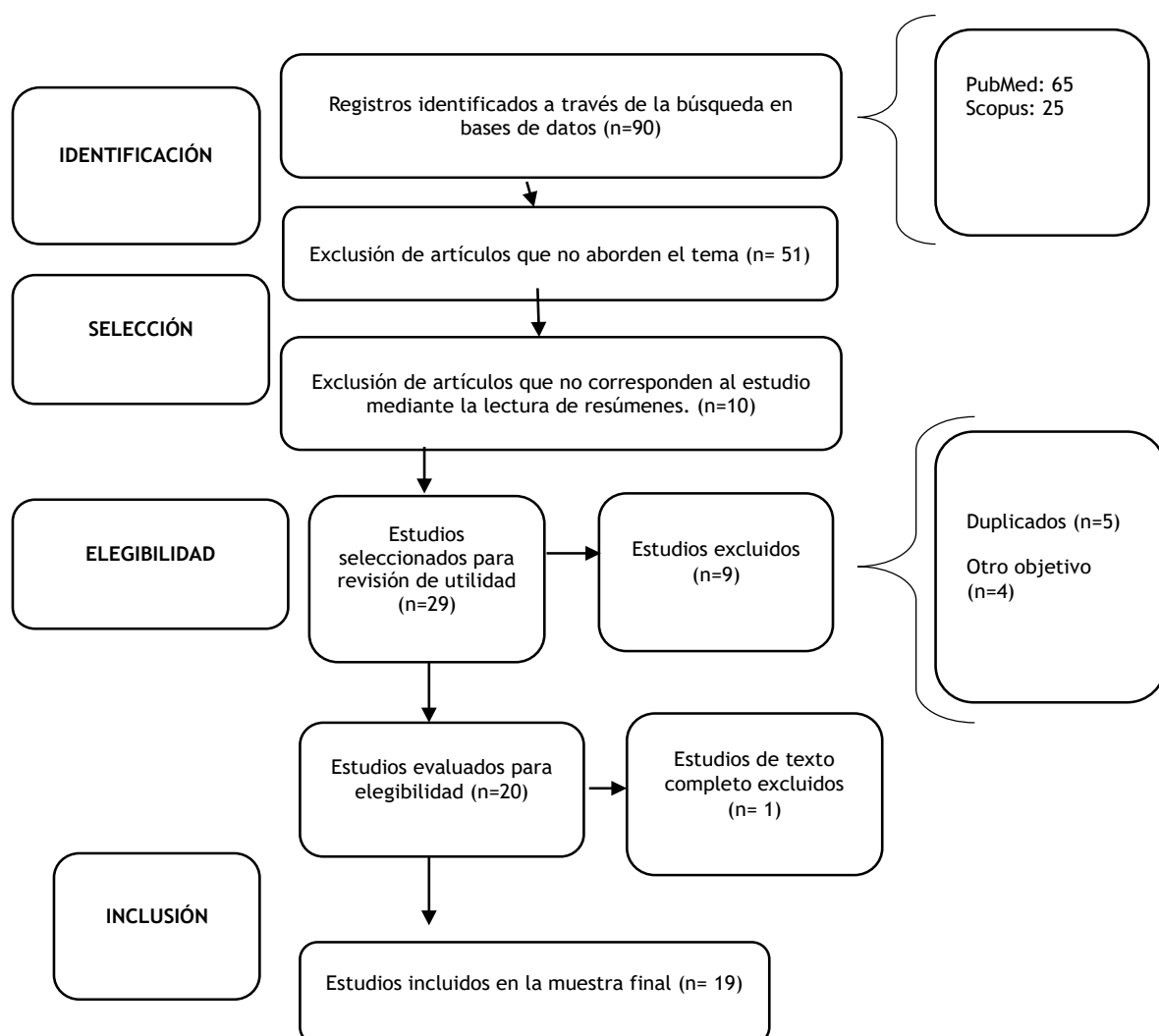


Figura 1. Diagrama de flujo de búsqueda de los artículos

Tabla 1. Descripción de los artículos utilizados para la investigación

Título	Datos	Categoría
The Potential Application of Green-Synthesized Metal Nanoparticles in Dentistry: A Comprehensive Review. ⁽¹⁾	Debido a sus propiedades ópticas únicas y críticas, las nanopartículas de oro desempeñan un papel importante en el diagnóstico de enfermedades periodontales. Según los hallazgos, el tamaño y la concentración de las nanopartículas de oro tienen un efecto beneficioso sobre la proliferación de estas células. Por lo tanto, estas se pueden utilizar como fuente de ingeniería de tejidos para ayudar a regenerar el tejido enfermo.	Uso de nanopartículas de oro en enfermedad periodontal
Green Silver and Gold Nanoparticles: Biological Synthesis Approaches and Potentials for Biomedical Applications. ⁽²⁾	La síntesis verde con plantas u otros materiales orgánicos ofrece la oportunidad de preparar soluciones de nanopartículas portadoras de compuestos biológicamente activos procedentes del extracto natural aplicado, lo que podría dar lugar a una actividad anticancerígena modulada, haciendo que la partícula sea más o incluso menos potente, o tóxica para las células humanas cancerosas y no cancerosas. De hecho, se ha demostrado que un gran número de nanopartículas de plata y nanopartículas de oro sintetizadas en verde presentan actividad anticancerígena, pero su eficacia y los efectos celulares dependen en gran medida del extracto natural aplicado durante el procedimiento de síntesis.	Uso de nanopartículas como anticancerígeno
Current developments in green synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts: a review. ⁽³⁾	La producción de nanopartículas metálicas a partir de extractos de plantas es sencilla, cómoda, económica, fácil de ampliar, consume menos energía, es respetuosa con el medio ambiente, reduce el uso de materiales inseguros y aumenta la eficiencia del proceso. Especialmente indicado para la producción de nanopartículas que deben estar libres de contaminantes tóxicos para cumplir con los requisitos de las aplicaciones biomédicas y terapéuticas. La síntesis de nanopartículas a partir de extractos de plantas no sólo proporciona una mayor estabilidad de tamaño y forma, sino que también brinda mayores rendimientos que otros métodos físicos y químicos.	Producción de nanopartículas a partir de extractos de plantas
Nanoparticles as Anti-Microbial, Anti-Inflammatory, and Remineralizing Agents in Oral Care Cosmetics: A Review of the Current Situation. ⁽⁴⁾	Debido a que el flúor ha demostrado buenas propiedades de remineralización, se han realizado pocos estudios sobre las nanopartículas que tienen un efecto remineralizante. Las nanopartículas más importantes conocidas y utilizadas para la remineralización son las nanopartículas de hidroxiapatita (HA). Las principales ventajas de las nanopartículas de hidroxiapatita (HA) son su similitud estructural con los minerales dentales, su bioactividad y su biocompatibilidad. De hecho, la morfología y estructura cristalina de estas partículas se asemejan a la apatita dental.	Nanopartículas de hidroxiapatita
Application of Antimicrobial Nanoparticles in Dentistry. ⁽⁵⁾	La adición de 0,15 % de nanopartículas de plata y 2,5 % de dimetilaminohexadecil metacrilato no afectó negativamente las propiedades físicas de la pasta AH Plus; además, la pasta con nanorrellenos mostró una actividad antibacteriana significativamente mayor frente a <i>E. faecalis</i> . El hidróxido de calcio (Ca(OH) ₂) se utiliza habitualmente como medicamento intracanal en la práctica clínica. La incorporación de nanopartículas de quitosano a una pasta a base de Ca(OH) ₂ tenía el potencial de aumentar su capacidad antibacteriana. Tanto las nanoformas de Ca(OH) ₂ como de quitosano mostraron una penetración superior en los túbulos dentinarios y una eficacia antibacteriana apreciable.	Nanoartículas en el tratamiento endodóntico
Green synthesis of silver nanoparticles combined to calcium glycerophosphate: antimicrobial and antibiofilm activities. ⁽⁶⁾	Las nanopartículas de plata (AgNPs) asociadas o no a β-glicerofosfato cálcico se produjeron mediante una ruta "verde" utilizando extractos de diferentes partes de la granada. Se determinaron las propiedades antimicrobianas y antibiopelícula frente a <i>Candida albicans</i> y <i>Streptococcus mutans</i> mediante la concentración mínima bactericida/fungicida y la densidad de biopelícula tras los tratamientos. Las AgNPs asociadas o no a glicerofosfato cálcico producidas mediante un proceso "verde" pueden ser un prometedor agente antimicrobiano novedoso contra microorganismos orales.	Nanopartículas antimicrobianas y antibiopelícula
Phytosynthesis of gold nanoparticles: Characterization, biocompatibility, and evaluation of its osteoinductive potential for application in implant dentistry. ⁽⁷⁾	Las nanopartículas de oro, biocompatibles y respetuosas con el medio ambiente, pueden utilizarse como coadyuvantes eficaces de inducción ósea durante el tratamiento con implantes dentales para la formación de la interfaz ósea y el mantenimiento del hueso periimplantario emergente.	Nanopartículas usadas en el tratamiento de implantes dentales

Indigofera tinctoria leaf extract mediated green synthesis of silver and gold nanoparticles and assessment of their anticancer, antimicrobial, antioxidant and catalytic properties. ⁽⁸⁾	Las nanopartículas de oro y plata muestran buenas propiedades anticancerígenas contra la línea celular de cáncer de pulmón A549 que el extracto de la planta. Por lo tanto, estas nanopartículas funcionalizadas con I. tinctoria pueden utilizarse eficazmente como una poderosa arma contra el cáncer. También presentan notables propiedades antimicrobianas y antioxidantes. Debido a estas propiedades, las nanopartículas sintetizadas tienen notables aplicaciones en el campo biomédico y muestran una excelente actividad catalítica hacia la reducción de nitroanilinas.	Uso de nanopartículas como anticancerígeno
Green synthesis of copper nanoparticles using Celastrus paniculatus Willd. leaf extract and their photocatalytic and antifungal properties. ⁽⁹⁾	Recientemente, las nanopartículas (NPs) biosintetizadas han atraído mucha atención debido a su aplicación fotocatalítica en la degradación de colorantes orgánicos. Diferentes tipos de plantas y sus productos derivados se han utilizado con éxito en la síntesis de diferentes nanopartículas verdes de óxido de zinc, platino, paladio, plata, cobalto, magnesio y oro.	Nanopartículas verdes
Euphorbia herita leaf extract as a reducing agent in a facile green synthesis of iron oxide nanoparticles and antimicrobial activity evaluation. ⁽¹⁰⁾	Los fitoquímicos, especialmente los polifenoles y los compuestos alcohólicos, desempeñan un papel crucial en la fabricación de nanopartículas magnéticas de óxido de hierro. La actividad antimicrobiana de las nanopartículas de óxido de hierro fabricadas se evaluó frente a patógenos bacterianos y fúngicos seleccionados y el resultado del estudio antimicrobiano fue muy prometedor.	Nanopartículas antimicrobianas
Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Aqueous Extract of Deverra tortuosa and their Cytotoxic Activities. ⁽¹¹⁾	Se realizaron análisis cualitativos y cuantitativos del extracto de la planta Deverra tortuosa. La actividad anticancerígena potencial se investigó in vitro contra dos líneas celulares de cáncer (adenocarcinoma de colon humano "Caco-2" y adenocarcinoma de pulmón humano "A549") en comparación con sus actividades en la línea celular de fibroblastos de pulmón humano (WI38) mediante el ensayo MTT. Tanto el extracto acuoso como las nanopartículas de óxido de zinc mostraron una notable citotoxicidad selectiva contra las dos líneas celulares de cáncer examinadas.	Uso de nanopartículas como anticancerígeno
A Review on Silver Nanoparticles: Classification, Various Methods of Synthesis, and Their Potential Roles in Biomedical Applications and Water Treatment. ⁽¹²⁾	Entre los numerosos agentes antiinflamatorios, las nanopartículas de plata (AgNPs) han desempeñado una función esencial como agente antiinflamatorio. Las AgNPs se consideran un excelente agente antimicrobiano; sin embargo, sus respuestas antiinflamatorias son todavía limitadas. Un estudio publicado sobre la acción antiinflamatoria de las AgNPs ha descubierto que reduce notablemente la inflamación colónica en ratas tratadas intracolónicamente (4 mg/kg) u oralmente (40 mg/kg) con plata nanocrystalina (NPI 32101)	Nanopartículas como agente antiinflamatorio
Therapeutic Use of Silver Nanoparticles in the Prevention and Arrest of Dental Caries. ⁽¹³⁾	La caries dental es una de las principales enfermedades bucales que afectan a las personas en todo el mundo. Se han utilizado varios métodos alternativos para combatirlo, pero su incidencia y prevalencia siguen siendo altas. La plata, por otro lado, se ha utilizado durante siglos por sus propiedades antibacterianas. Con el desarrollo de la nanotecnología, las nanopartículas de plata se utilizan para prevenir y detener la caries dental sin los efectos negativos de la pigmentación dental.	Nanopartículas usadas para prevenir y detener la caries dental
Recent advances of gold nanoparticles as biomaterial in dentistry. ⁽¹⁴⁾	Debido a su nanoestructura, su gran volumen superficial y biocompatibilidad, las nanopartículas de oro se han utilizado en el tratamiento de enfermedades de las encías, caries dental, ingeniería de tejidos, implantes dentales y diagnóstico de cáncer. Estas nanopartículas tienen efectos antifúngicos y antibacterianos, por lo que se incorporan a diversos biomateriales para potenciar sus efectos. También mejoran las propiedades mecánicas de los materiales y, por lo tanto, producen mejores resultados.	Nanopartículas en odontología y biomateriales
Recyclable palladium based nano-catalytic laborer engaged within bio-granules for dye degradation. ⁽¹⁵⁾	La quitina, como biopolímero catiónico natural, tiene una estructura jerárquica de nanofibras/hojas con grupos funcionales accesibles y una biocompatibilidad intrínseca, por lo que se aplica ampliamente como portador ideal para el almacenamiento de energía, la electroquímica, la separación/absorción, las actividades antimicrobianas y la estimulación de la cicatrización de heridas	Uso de la quitina
Melt intercalation technique for synthesis of hetero-metallic@ chitin bio-composite as recyclable catalyst for prothiofos hydrolysis. ⁽¹⁶⁾	La quitina, como segundo biopolímero más abundante después de la celulosa, se caracteriza por ser un polímero inodoro, biocompatible y biodegradable y puede extraerse de los caparzones de exoesqueletos de artrópodos (cangrejos, gambas y escarabajos), telas de arañas, columna vertebral flexible interna de cefalópodos, paredes celulares de hongos o levaduras y gusanos. Numerosos estudios fueron considerados con la utilización de la quitina en el tratamiento del agua, cosméticos, mano de obra bactericida, farmacéutica, ingeniería de tejidos y cicatrización de heridas.	Uso de la quitina

Plant polyphenols mediated synthesis of gold nanoparticles for pain management in nursing care for dental tissue implantation applications. ⁽¹⁷⁾	La regeneración ósea (osteointegración) es un principio esencial para analizar la realización del tratamiento con implantes. Las nanopartículas de oro biocompatibles, respetuosas con el medio ambiente y estables se utilizaban como analgésico eficaz para el tratamiento del dolor y como agente inductor óseo en el tratamiento de implantación de tejido dental en cuidados de enfermería.	Nanopartículas usadas en el tratamiento de implantes dentales
The antibacterial, antibiofilm, antifogging and mosquitocidal activities of titanium dioxide (TiO ₂) nanoparticles green-synthesized using multiple plants extracts. ⁽¹⁸⁾	Recientemente, la nanotecnología ha ganado la atención de los investigadores debido a su amplia gama de aplicaciones, entre las que se incluyen los cosméticos y los materiales autolimpiables. La amplia investigación y la latencia de las nanopartículas (NP) han llevado a un aumento de muchas medidas artificiales. Las rutas artificiales para la síntesis de NP son costosas y perjudiciales para el medio ambiente. Por lo tanto, los materiales de NPs más ecológicos asistidos por plantas son ventajosos frente a los métodos químicos.	Producción de nanopartículas a partir de extractos de plantas
Green synthesis of ZnO nanoparticles using a <i>Dysphania ambrosioides</i> extract. Structural characterization and antibacterial properties. ⁽¹⁹⁾	Las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO-NPs), tiene propiedades antibacterianas frente a <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Escherichia coli</i> y <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ; así como bacterias que suelen encontrarse en la boca de los seres humanos y están relacionadas con afecciones dentales, como <i>Aggregatibacter actinomycetemcomitans</i> , <i>Porphyromonas gingivalis</i> , <i>Prevotella intermedia</i> , <i>Streptococcus mutans</i> y <i>Streptococcus sanguinis</i> .	Nanopartículas de óxido de zinc

A través del análisis de la revisión bibliográfica, el equipo de investigación reunió información esencial para investigar el uso y las aplicaciones clínicas de las nanopartículas metálicas biogénicas sintetizadas mediante métodos verdes en odontología. La colaboración entre los miembros del equipo facilitó la identificación de aquellos factores que, según el juicio de los expertos, podrían ser decisivos. En consonancia con el método descrito, la tabla 2 exhibe los aspectos internos y externos evaluados y ponderados en función de los resultados obtenidos.

Tabla 2. Elementos internos y externos evaluados por los expertos

Elementos	Factores	Ponderación	Evaluación	Resultado ponderado
Fortalezas	La síntesis verde de nanopartículas a partir de extractos de plantas es sencilla, económica y respetuosa con el medio ambiente	0,15	2	0,3
	Las nanopartículas de plata, oro y zinc tienen demostradas propiedades antimicrobianas y anticancerígenas que pueden ser aplicadas en diversas áreas de la odontología	0,15	2	0,3
	Las nanopartículas de hidroxiapatita y oro son biocompatibles y tienen aplicaciones en la remineralización y en el tratamiento de implantes dentales	0,15	2	0,3
	La síntesis verde reduce el uso de materiales inseguros y tóxicos, mejorando la seguridad en aplicaciones biomédicas	0,11	1	0,11
Debilidades	La eficacia de las nanopartículas puede depender del extracto natural utilizado en su síntesis, lo que puede generar variabilidad en los resultados	0,14	3	0,42
	La falta de estándares uniformes para la síntesis y evaluación de nanopartículas puede dificultar la replicación y comparación de resultados entre estudios	0,15	3	0,45
	Algunas nanopartículas, como las de zinc y hierro, tienen una investigación limitada en su aplicación clínica específica en odontología	0,15	4	0,6
Suma Total Análisis Interno				2,48
Oportunidades	El interés creciente en soluciones ambientales sostenibles puede impulsar la adopción de nanopartículas biogénicas en odontología	0,2	4	0,8
	La capacidad de las nanopartículas para ser funcionalizadas ofrece oportunidades para desarrollar nuevas aplicaciones en tratamientos dentales y diagnóstico	0,15	3	0,45
	Los avances en la síntesis y caracterización de nanopartículas pueden abrir nuevas vías para la innovación en tratamientos dentales	0,15	4	0,6
Amenazas	Las regulaciones estrictas sobre el uso de nanomateriales pueden limitar la rápida introducción al mercado y la aceptación clínica	0,15	1	0,15
	Existen preocupaciones sobre la posible toxicidad y efectos adversos a largo plazo de las nanopartículas en el cuerpo humano	0,2	2	0,4
	Los costos asociados con la investigación y el desarrollo de nanopartículas pueden ser altos, lo que podría limitar la accesibilidad y la implementación en el campo clínico	0,15	1	0,15
Suma Total Análisis Externo				2,55

El análisis interno reveló que la puntuación ponderada total para los elementos internos es inferior a 2,5, lo que indica que las debilidades identificadas tienen un peso mayor que las fortalezas detectadas. En este contexto, resulta imperativo fortalecer las estrategias defensivas, orientadas a mitigar o, en su defecto, reducir el impacto de las debilidades presentes. En contraste, se observó que las oportunidades predominan sobre las amenazas, dado que la puntuación ponderada total supera el umbral de equilibrio establecido por el método. Por lo tanto, es aconsejable intensificar el aprovechamiento de los aspectos positivos de los nanomateriales metálicos en odontología para contrarrestar el impacto de los factores negativos identificados.

Este análisis reveló que las nanopartículas biogénicas tienen un potencial considerable en odontología, especialmente en términos de eficiencia en la producción, propiedades terapéuticas y biocompatibilidad. Sin embargo, para maximizar su impacto, se debe abordar la variabilidad en la eficacia y la falta de estándares uniformes. Además, el sector debe prepararse para enfrentar las amenazas de regulación y costos. Se recomienda enfocarse en desarrollar normas estandarizadas para la síntesis y evaluación de nanopartículas, así como en ampliar la investigación clínica para explorar nuevas aplicaciones. La promoción de la nanotecnología verde, combinada con estrategias para mitigar los riesgos regulatorios y de toxicidad, podría facilitar una mayor aceptación y éxito en el campo odontológico.

DISCUSIÓN

La revisión de la literatura y el análisis de las propiedades de las nanopartículas en el campo odontológico revelaron tanto fortalezas significativas como áreas que requieren atención para maximizar el impacto clínico y científico. La producción de nanopartículas utilizando métodos ecológicos, como la síntesis verde asistida por plantas, se destacó como una ventaja crucial, dado que reduce el uso de materiales inseguros y es respetuosa con el medio ambiente.⁽³⁾ Este enfoque se alinea con el creciente interés en tecnologías sostenibles, como lo evidencia la reciente atención que ha recibido la nanotecnología en los últimos años.⁽¹⁸⁾ La utilización de nanopartículas biocompatibles, como las de oro y hidroxiapatita, demostró ser eficaz en aplicaciones terapéuticas y de diagnóstico, como la regeneración ósea y la mejora de biomateriales dentales.^(14,17)

Sin embargo, la variabilidad en la eficacia de las nanopartículas y la falta de estándares uniformes son debilidades notables. La eficacia de las nanopartículas puede verse afectada por el tipo de extracto utilizado en su síntesis, lo que puede llevar a resultados inconsistentes.⁽²⁾ Además, la falta de protocolos estandarizados dificulta la comparación y replicación de estudios.⁽⁸⁾ Estas debilidades sugieren la necesidad de estrategias que fortalezcan la estandarización y la investigación en aplicaciones clínicas específicas para mejorar la confiabilidad y la eficacia de las nanopartículas.

En términos de oportunidades, el crecimiento del mercado de nanotecnología verde y la capacidad de desarrollar nuevas aplicaciones clínicas subrayan el potencial para expandir el uso de nanopartículas en odontología.⁽¹⁸⁾ La investigación y el desarrollo en esta área pueden abrir nuevas vías para innovaciones en tratamientos dentales. Estas oportunidades deben ser aprovechadas mediante la colaboración con sectores interesados en nanotecnología verde y la inversión en proyectos de investigación que exploren aplicaciones novedosas de nanopartículas.

Las amenazas relacionadas con las regulaciones estrictas y las preocupaciones sobre la toxicidad también deben ser abordadas. La estricta regulación sobre el uso de nanomateriales podría limitar la adopción de estas tecnologías, mientras que las inquietudes sobre su seguridad a largo plazo requieren una atención especial. Para mitigar estas amenazas, es esencial que los investigadores y las empresas participen activamente en el desarrollo de normativas y realicen estudios exhaustivos sobre la seguridad de las nanopartículas. Además, se deben buscar subvenciones y financiamientos para superar los altos costos asociados con la investigación y desarrollo, facilitando así la implementación clínica.

El análisis de los resultados sugiere que la optimización de las nanopartículas biogénicas en odontología debe centrarse en estandarizar procesos y prácticas, impulsar la investigación en aplicaciones clínicas específicas, y fomentar la colaboración con entidades que apoyen la nanotecnología verde. Al mismo tiempo, es necesario abordar las amenazas mediante la regulación adecuada y la demostración continua de la seguridad de las nanopartículas, para asegurar su aceptación y uso efectivo en el campo odontológico.

CONCLUSIONES

En el presente estudio se exploró el uso y las aplicaciones clínicas de las nanopartículas metálicas biogénicas sintetizadas mediante métodos verdes en odontología. Se realizó una revisión sistemática de la literatura siguiendo el procedimiento PRISMA, analizando 19 artículos científicos obtenidos de PubMed y Scopus, publicados entre 2018 y 2023. Se aplicaron criterios rigurosos de inclusión y exclusión para seleccionar estudios relevantes, y se empleó un análisis DAFO con la colaboración de cinco expertos en odontología para evaluar los factores internos y externos que afectan la eficacia y aplicación de estas nanopartículas.

Los resultados mostraron que las debilidades identificadas tienen un mayor peso que las fortalezas, lo que subraya la necesidad de desarrollar estrategias defensivas para mitigar las debilidades y maximizar las

fortalezas. Además, se evidenció una predominancia de oportunidades sobre amenazas, sugiriendo que los aspectos positivos de los nanomateriales pueden ser potenciados para reducir el impacto de los factores negativos presentes. Estos hallazgos destacan la importancia de mejorar las estrategias para abordar las debilidades y aprovechar las oportunidades en el campo de los nanomateriales metálicos.

El estudio contribuye al conocimiento actual sobre la aplicación de nanopartículas biogénicas, proporcionando una evaluación crítica de sus ventajas y limitaciones. De esta manera se sugiere la necesidad de continuar investigando y desarrollando métodos verdes para la síntesis de nanopartículas, con el fin de optimizar su eficacia clínica y minimizar sus impactos negativos. Futuras investigaciones podrían centrarse en la optimización de procesos de síntesis y en la evaluación más detallada de las aplicaciones clínicas de estos nanomateriales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Yazdanian M, Rostamzadeh P, Rahbar M, Alam M, Abbasi K, Tahmasebi E, et al. The potential application of green-synthesized metal nanoparticles in dentistry: A comprehensive review. *Bioinorg Chem Appl* [Internet]. 2022;2022(1):2311910. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2022/2311910>
2. Rónavári A, Igaz N, Adamecz DI, Szerencsés B, Molnar C, Kónya Z, et al. Green silver and gold nanoparticles: Biological synthesis approaches and potentials for biomedical applications. *Molecules* [Internet]. 2021;26(4):844. Available from: <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/4/844>
3. Yadi M, Mostafavi E, Saleh B, Davaran S, Aliyeva I, Khalilov R, et al. Current developments in green synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts: a review. *Artif cells, nanomedicine, Biotechnol* [Internet]. 2018;46(sup3):336-43. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21691401.2018.1492931#abstract>
4. Carrouel F, Viennot S, Ottolenghi L, Gaillard C, Bourgeois D. Nanoparticles as anti-microbial, anti-inflammatory, and remineralizing agents in oral care cosmetics: a review of the current situation. *Nanomaterials* [Internet]. 2020;10(1):140. Available from: <https://www.mdpi.com/2079-4991/10/1/140>
5. Song W, Ge S. Application of antimicrobial nanoparticles in dentistry. *Molecules* [Internet]. 2019;24(6):1033. Available from: <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/6/1033>
6. Souza JAS, Barbosa DB, Berretta AA, Do Amaral JG, Gorup LF, de Souza Neto FN, et al. Green synthesis of silver nanoparticles combined to calcium glycerophosphate: antimicrobial and antibiofilm activities. *Future Microbiol* [Internet]. 2018;13(3):345-57. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2217/fmb-2017-0173>
7. Jadhav K, Rajeshwari HR, Deshpande S, Jagwani S, Dhamecha D, Jalalpure S, et al. Phytosynthesis of gold nanoparticles: characterization, biocompatibility, and evaluation of its osteoinductive potential for application in implant dentistry. *Mater Sci Eng C* [Internet]. 2018;93:664-70. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493117347100>
8. Vijayan R, Joseph S, Mathew B. Indigofera tinctoria leaf extract mediated green synthesis of silver and gold nanoparticles and assessment of their anticancer, antimicrobial, antioxidant and catalytic properties. *Artif cells, nanomedicine, Biotechnol* [Internet]. 2018;46(4):861-71. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21691401.2017.1345930>
9. Mali SC, Dhaka A, Githala CK, Trivedi R. Green synthesis of copper nanoparticles using *Celastrus paniculatus* Willd. leaf extract and their photocatalytic and antifungal properties. *Biotechnol Reports* [Internet]. 2020;27:e00518. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X20305907>
10. Ahmad W, Kumar Jaiswal K, Amjad M. Euphorbia herita leaf extract as a reducing agent in a facile green synthesis of iron oxide nanoparticles and antimicrobial activity evaluation. *Inorg Nano-Metal Chem* [Internet]. 2021;51(9):1147-54. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/24701556.2020.1815062>
11. Selim YA, Azb MA, Ragab I, HM Abd El-Azim M. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using aqueous extract of *Deverra tortuosa* and their cytotoxic activities. *Sci Rep* [Internet]. 2020;10(1):3445. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-60541-1>
12. Zahoor M, Nazir N, Iftikhar M, Naz S, Zekker I, Burlakovs J, et al. A review on silver nanoparticles:

Classification, various methods of synthesis, and their potential roles in biomedical applications and water treatment. *Water* [Internet]. 2021;13(16):2216. Available from: https://www.mdpi.com/2073-4441/13/16/2216?utm_campaign=releaseissue_waterutm_medium=emailutm_source=releaseissueutm_term=titlelink86

13. Butrón C, Hernández JF, DeAlba I, Urbano M de los A, Ruiz F. Therapeutic use of silver nanoparticles in the prevention and arrest of dental caries. *Bioinorg Chem Appl* [Internet]. 2020;2020(1):8882930. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2020/8882930>

14. Bapat RA, Chaubal T V, Dharmadhikari S, Abdulla AM, Bapat P, Alexander A, et al. Recent advances of gold nanoparticles as biomaterial in dentistry. *Int J Pharm* [Internet]. 2020;586:119596. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378517320305809>

15. Ahmed HB, Saad N, Emam HE. Recyclable palladium based nano-catalytic laborer encaged within bio-granules for dye degradation. *Surfaces and Interfaces* [Internet]. 2021;25:101175. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468023021002522>

16. Emam HE, Ahmed HB, Abdelhameed RM. Melt intercalation technique for synthesis of hetero-metallic@chitin bio-composite as recyclable catalyst for prothiofoshydrolysis. *Carbohydr Polym* [Internet]. 2021;266:118163. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861721005506>

17. Wang M, Wang L. Plant polyphenols mediated synthesis of gold nanoparticles for pain management in nursing care for dental tissue implantation applications. *J Drug Deliv Sci Technol* [Internet]. 2020;58:101753. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1773224720301799>

18. Achudhan D, Vijayakumar S, Malaikozhundan B, Divya M, Jothirajan M, Subbian K, et al. The antibacterial, antibiofilm, antifogging and mosquitocidal activities of titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles green-synthesized using multiple plants extracts. *J Environ Chem Eng* [Internet]. 2020;8(6):104521. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343720308708>

19. Álvarez R, García VI, Álvarez MA, Arenas JÁ. Green synthesis of ZnO nanoparticles using a *Dysphania ambrosioides* extract. Structural characterization and antibacterial properties. *Mater Sci Eng C* [Internet]. 2021;118:111540. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493120334585>

FINANCIACIÓN

Ninguna.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Ponce Reyes Nathalie Steffy, Grijalva Palacios Miryan Margarita, Grijalva Bueno Antonella.

Curación de datos: Ponce Reyes Nathalie Steffy, Grijalva Palacios Miryan Margarita, Grijalva Bueno Antonella.

Análisis formal: Ponce Reyes Nathalie Steffy, Grijalva Palacios Miryan Margarita, Grijalva Bueno Antonella.

Investigación: Ponce Reyes Nathalie Steffy, Grijalva Palacios Miryan Margarita, Grijalva Bueno Antonella.

Metodología: Ponce Reyes Nathalie Steffy, Grijalva Palacios Miryan Margarita, Grijalva Bueno Antonella.

Administración del proyecto: Ponce Reyes Nathalie Steffy, Grijalva Palacios Miryan Margarita, Grijalva Bueno Antonella.

Recursos: Ponce Reyes Nathalie Steffy, Grijalva Palacios Miryan Margarita, Grijalva Bueno Antonella.

Software: Ponce Reyes Nathalie Steffy, Grijalva Palacios Miryan Margarita, Grijalva Bueno Antonella.

Supervisión: Ponce Reyes Nathalie Steffy, Grijalva Palacios Miryan Margarita, Grijalva Bueno Antonella.

Validación: Ponce Reyes Nathalie Steffy, Grijalva Palacios Miryan Margarita, Grijalva Bueno Antonella.

Visualización: Ponce Reyes Nathalie Steffy, Grijalva Palacios Miryan Margarita, Grijalva Bueno Antonella.

Redacción - borrador original: Ponce Reyes Nathalie Steffy, Grijalva Palacios Miryan Margarita, Grijalva Bueno Antonella.

Redacción - revisión y edición: Ponce Reyes Nathalie Steffy, Grijalva Palacios Miryan Margarita, Grijalva Bueno Antonella.