

NANOBOTS: APLICACIONES MÉDICAS Y ODONTOLÓGICAS PARA LA PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES. UNA VISIÓN FUTURISTA

Nanobots: medical and dentistry applications for the prevention of diseases. A futuristic vision

Samaniego Urrego Mayra Casandra¹, Moscoso Abad María Elizabeth²,
Calle Prado María Daniela³, Quito Vallejo Erica Dayana⁴

¹ Odontóloga, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca-Ecuador.

² Odontóloga, Universidad Católica de Cuenca, Especialista en Endodoncia, CPO Brasil, Docente Titular, Carrera de Odontología, Universidad Católica de Cuenca.

³ Odontóloga, Universidad Católica de Cuenca, Especialista en Odontopediatría, Universidad de São Paulo, Docente Titular, Carrera de Odontología, Universidad Católica de Cuenca.

⁴ Odontóloga, Universidad Católica de Cuenca, Especialista en Rehabilitación Oral, Universidad Mayor de Chile, Docente Titular, Carrera de Odontología, Universidad Católica de Cuenca.

RESUMEN

Objetivo: Conocer las aplicaciones médicas y odontológicas del uso de nanobots para el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades mediante una revisión de la literatura. **Métodos:** Se realizó una revisión bibliográfica minuciosa desde el año 2004 mediante internet sobre las aplicaciones médicas y odontológicas del uso de nanobots a través de bases de datos como: Pubmed, Scielo, Dialnet, Bases digitales científicas de la biblioteca virtual de la Universidad Católica de Cuenca y Google Académico. Para la selección de artículos se realizó una bitácora de búsqueda a través de Excel con el fin de facilitar la búsqueda de información y a su vez para los criterios de selección tanto de exclusión como inclusión. Los criterios de inclusión fueron: artículos desde 2004 hasta 2020, artículos en español e inglés, artículos de acceso libre y los criterios de exclusión fueron: artículos originales o de revisión con datos incompletos, textos desactualizados sin un sustento científico, artículos o estudios que no tengan que ver con las aplicaciones médicas y odontológicas por parte de los nanobots para la prevención de enfermedades. **Conclusiones:** La nanotecnología en medicina y odontología aún enfrentan muchos desafíos. Sin embargo, con el descubrimiento de los nanobots daría esperanzas para la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades. No obstante, es necesario abordar y superar grandes desafíos que involucran normas éticas y de seguridad, debido a que no existen en la actualidad estudios realizados en seres humanos utilizando nanobots.

Palabras clave: Prevención de Enfermedades, Diagnóstico, Tratamiento, Nanobot, Nanotecnología

ABSTRACT

Objective: to know the medical and dental applications of the use of nanobots for the diagnosis, treatment and prevention of diseases through a literature review. **Materials and methods:** a meticulous bibliographic review was carried out since 2004 through the internet on the medical and dental applications of the use of nanobots through databases such as: Pubmed, Scielo, Dialnet, Scientific bases of the virtual library of the Catholic University de Cuenca and Google Academic. For the selection of articles, a search log was carried out through Excel in order to facilitate the search for information and once for the selection criteria for both exclusion and inclusion. The inclusion criteria were: articles from 2004 to 2020, articles in Spanish and English, free access articles and the exclusion criteria were: original review articles with incomplete data, outdated texts without scientific support, articles or studies that do not have to do with medical and dental applications by nanobots for disease prevention. **Conclusions:** Nanotechnology in and dentistry still faces many challenges. However, with the discovery of nanobots it would give hope for the prevention, diagnosis and treatment of diseases. However, it is necessary to address and overcome major challenges that involve safety and ethical standards, since there are currently no human studies using nanobots.

Key words: Disease Prevention, Diagnosis, Treatment, Nanobot, Nanotechnology

INTRODUCCIÓN

Es evidente que con el pasar de los años han existido cambios y avances importantes especialmente en áreas de la ciencia y la tecnología. Siendo así que en el año 1959 Richard Feynman considerado como el “padre de la nanociencia” en una conferencia en el Auditorio de Caltech de la Universidad Tecnológica de California dijo: “hay mucho sitio en el fondo”¹, en el cual se refería a las utilidades de la nanociencia y nanotecnología, concluyendo a la posibilidad de manipular de manera directa los átomos mediante la síntesis química.

Es importante conceptualizar y diferenciar los términos nanotecnología y nano-odontología. El término nanotecnología fue introducido en el año de 1959, refiriéndose a la metodología de emplear los diminutos o microscópicos dispositivos tecnológicos o los nanobots. Según con la US National Nanotechnology Initiative, “La nanotecnología es la compresión de la materia que contiene imágenes, medidas, modelación, y manejo de la materia a nano escala, donde los fenómenos únicos permiten nuevas aplicaciones”². En una de estas aplicaciones se encuentra la nanotecnología molecular que origina materiales biofuncionales mediante técnicas físico-químicas³, que se podrán utilizar en diferentes áreas médicas y odontológicas. Por lo tanto, la nano-odontología es el término utilizado para referirse a la aplicación odontológica por parte de la nanotecnología, que permitiría utilizar nanomateriales y la nanorobótica dental con la finalidad de brindar una salud oral óptima enfocada a la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades brindando la disminución y posiblemente la erradicación del dolor, reducción del tiempo que conlleva un tratamiento actual e incluso eliminar los tratamientos odontológicos tradicionales.

Un nanobot es un robot autopropulsado autónomo diminuto, su diámetro es aproximadamente de 0,5 a 3 micrones con partes de 1 a 100 nanómetros. Su componente principal es el carbono en forma de diamante o fullereno. Según el diccionario web de nanociencia y nanotecnología, “un nanobot es una máquina imaginaria en una escala de cierto número de nanómetros diseñada para realizar tareas específicas”⁴. La desventaja de la aplicación de nanobots que describe la ciencia es la dificultad para introducir estos microrobots, es decir, el sitio de entrada al organismo, por lo particular el flujo sanguíneo sería el encargado de transportar el nanobot y a su vez desde el exterior sería programado y dirigido por el profesional de salud, sin embargo, existen obstáculos como la presencia de coágulos y las placas de ateromas. Por tal motivo, la ciencia sigue en avance y se están diseñando diferentes medios de propulsión³, por lo que, con la evolución constante de la tecnología en un futuro se podría lograr el ingreso de los nanobots al organismo sin causar efectos secundarios. Estas increí-

bles máquinas robóticas tendrían la capacidad de ingresar en el cuerpo del ser humano y combatir directamente las diferentes enfermedades complejas que hoy en día llevarían mucho tiempo en ser diagnosticadas y curadas.

Las aplicaciones de los nanobots en la medicina y odontología proporcionan una nueva alternativa futurista para el tratamiento de enfermedades. Existen diferentes tipos de nanobots enfocados en el sistema biológico del ser humano como: los respirocitos, microbívoros, dentifrobots y vasculoides.⁴ En medicina con la ayuda de los nanobots se podría tratar enfermedades complejas como: cáncer, infarto agudo de miocardio, litiasis, etc.

En odontología la caries dental es una de las enfermedades con mayor prevalencia que afecta la estructura dentaria dejando repercusiones graves para la salud oral. Sin embargo, con la creación de los dentifrobots en dimensiones de 1-10 μm disueltos en enjuagues o pastas dentales podrían combatir al *Streptococos mutans* de manera directa y erradicar la caries y de igual manera, destruir microorganismos patógenos relacionados a la enfermedad periodontal.²

Por ende, la importancia de investigar las aplicaciones de los nanobots en la medicina y su posterior utilidad en odontología, con el propósito de mejorar la calidad de vida del ser humano con un temprano diagnóstico y un correcto tratamiento parece ser cuestión de tiempo. Con la presente revisión bibliográfica se pretende actualizar los conocimientos sobre los avances tecnológicos a través de los nanobots a la sociedad, pero en particular a los profesionales de la salud enfocándose en el diagnóstico y tratamiento, con herramientas más avanzadas y futuristas que podrían erradicar las enfermedades. El objetivo de esta revisión es conocer las aplicaciones médicas y odontológicas del uso de nanobots para el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades mediante una revisión de la literatura.

MÉTODOS

Con la finalidad de lograr el objetivo general se realizó una revisión bibliográfica minuciosa desde el año 2004 a través de internet sobre las aplicaciones médicas y odontológicas del uso de nanobots a través de bases de datos como: Pubmed, Scielo, Dialnet, Bases digitales científicas de la biblioteca virtual de la Universidad Católica de Cuenca y Google Académico. Las palabras clave que se buscaron en el Decs y Mesh fueron: Prevención de Enfermedades, Diagnóstico, Tratamiento, Nanobot, Nanotecnología. Para la selección de artículos se realizó una bitácora de búsqueda mediante Excel para facilitar la búsqueda de información y a su vez para los criterios de selección tanto de exclusión como inclusión. Los criterios de inclusión fueron: artículos desde 2004 hasta 2020, artículos en

español e inglés, artículos de acceso libre y los criterios de exclusión fueron: artículos originales o de revisión con datos incompletos, textos desactualizados sin un sustento científico, artículos o estudios que no tengan que ver con las aplicaciones médicas y odontológicas por parte de los nanobots para la prevención de enfermedades.

ESTADO DEL ARTE

Los nanobots, denominados también nanomáquinas, nanites, o nanoagentes, son robots bio-electromecánicos encargados de realizar tareas concretas, con exactitud, a una escala nanométrica. Su diseño se enfoca en la imitación del comportamiento de organismos biológicos como las bacterias. Como se ha descrito anteriormente son, auténticas máquinas biomoleculares que permitirán ejercer diversas acciones y manipular objetos en el futuro.⁵ Los nanobots tienen gran capacidad en el diagnóstico médico, al aislar patógenos o medir las propiedades físicas del tejido en tiempo real, lo que permitiría conseguir un diagnóstico temprano y exacto de enfermedades complejas.⁶

Las técnicas de fabricación de los nanobots, sus componentes, características, tipos, la entrega para el suministro de medicamentos y el procedimiento para la introducción en el ser humano, se sugirió eliminarlos debido a que el tema principal es la aplicación de los nanobots en la medicina y en odontología. Para complementar su conocimiento se sugiere revisar la bibliografía complementaria 1-9 que se encuentra al final.

Aplicaciones en medicina

Hematología

El uso de nanobots en hematología comprende desde transfusiones de compuestos no portadores de oxígeno en sangre hasta reparar la hemostasia.⁴ Los respiróciticos cumplirían las funciones que desempeñan los glóbulos rojos, cada respirócitico tiene tres tipos de rotores. El primer rotor libera el oxígeno almacenado mientras viaja por el cuerpo, el segundo rotor captura el dióxido de carbono en el torrente sanguíneo y lo libera en los pulmones, y el último rotor se encarga de recoger la glucosa del torrente sanguíneo y la usa como fuente de combustible. Además, con la ayuda de los respiróciticos programados se podría eliminar el monóxido de carbono y gases tóxicos del cuerpo. Los microbívoros reemplazarían a los glóbulos blancos también son conocidos como fagocitos nanobóticos.⁴ El proceso de la fagocitosis a cargo de los microbívoros sucede de la siguiente manera, la bacteria se une a la superficie del microbívoro, luego, las garras robóticas del microbívoro se elevan desde la superficie y se adhieren a la bacteria, posteriormente, la bacteria se introduce en la cámara de morcelación y se tritura. Se estima

que 30 segundos son suficientes para completar todo el ciclo de fagocitosis por los microbívoros.^{4,7}

Detección y tratamiento al cáncer

Con la implementación de los nanobots se podría diagnosticar y tratar con éxito el cáncer, debido a la capacidad del nanorobot de ser altamente específico al sitio de afección, es decir, al ser programado podría detectar y eliminar únicamente las células cancerígenas, además de suprimir los efectos secundarios de la terapia convencional, es decir la quimioterapia.⁸ Los nanobots con biosensor químico (nanosensor) podrían detectar las células tumorales en la etapa inicial del desarrollo del cáncer. También serían capaces de encontrar la intensidad de las señales de E-cadherina y su repercusión en la evolución del cáncer.⁹

Cirugía- Neurocirugía

La cirugía por lo general es un procedimiento invasivo que podría generar lesiones, así mismo es un método costoso y en algunas ocasiones requiere de un tiempo considerable de recuperación postoperatoria del paciente. Estos obstáculos pueden superarse mediante el uso de nanobots, con la posibilidad de crear un nanobot programado quirúrgicamente el cual, podría actuar como un cirujano in situ, semiautónomo dentro del cuerpo. El nanobot realizaría diversas funciones como son: diagnóstico de patologías y corrección de lesiones mediante la nanomanipulación interna ordenada por una computadora desde el exterior.⁴

En el área de neurocirugía uno de los procesos más importantes para la prevención de la morbilidad y la mortalidad por derrame es el tratamiento del aneurisma cerebral antes de la rotura, cerca del 10% de los pacientes fallecen antes de acudir a un centro hospitalario, el 5% muere dentro de las 24 horas posteriores a la rotura del mismo y el 50% muere dentro de 30 días. Con la implementación de los nanobots se podría detectar un aneurisma o realizar el seguimiento del mismo, un nanobot intravascular con la capacidad de detectar la formación de aneurismas a través de la detección de niveles elevados de proteína de óxido nítrico sintasa dentro del vaso sanguíneo afectado, ha sido propuesto por Cavalcanti et al.⁴, en el 2009. Además, estos nanobots tendrían la capacidad de comunicar de forma inalámbrica información de los cambios vasculares pertinentes a los proveedores de atención, lo que potencialmente reduce los costos de detección de imágenes y visitas de seguimiento frecuentes por parte del paciente hacia el centro hospitalario.¹⁰

Diabetes

Un nanobot basado en nanobioelectrónica se podría utilizar de manera exitosa para el control de la diabetes, este

trabajaría con un ordenador con la aplicación de nanorobótica médica, utilizando los datos clínicos del paciente.⁴ De esta forma el paciente estaría bien informado sobre sus valores de azúcar en sangre y evitaría la hiperglucemia a través de las señales de radiofrecuencia a un teléfono móvil que lleva el paciente y si la glucosa alcanza niveles críticos, los nanobots emiten una alarma a través del teléfono móvil.⁸

Reparación / reconstrucción de tejido dañado

Las aplicaciones médicas por parte del nanobot en la reparación de tejidos dañados incluyen: cierre de una vena dividida, regeneración de piel, regeneración de tejido necrótico. Los nanobots podrían reparar y curar fácilmente el tejido dañado tomando moléculas existentes, replicándolas y ensamblando nuevas moléculas en las capas de tejido. Por ejemplo, esta aplicación sería útil en caso de fracturas óseas, para esto es necesario obtener primero una ecografía de las estructuras óseas y luego se crean nanopartículas similares al hueso utilizando los resultados de la ecografía, cuando estas nanopartículas llegan al hueso fracturado, se ensamblan para formar una estructura que pasa a ser parte del hueso.¹¹

Enfermedad Renal (lisis de los nefrolitos)

El dolor que provocan los cálculos renales es intenso, los nefrolitos mayores a 7mm no se eliminan mediante la orina, sino a través de litotricia lo cual es un procedimiento invasivo, por lo tanto, los nanobots podrían romper los cálculos mediante descargas ultrasónicas, dichos cálculos saldrían sin dificultad a través de la orina.^{4,8}

Aplicaciones en odontología

Anestesia

Para inducir la anestesia, se colocaría en la encía un gel que contiene millones de robots, una vez que los nanobots entren en contacto con la superficie de la corona o la mucosa podrían llegar a la pulpa a través del surco gingival o los túbulos dentinarios, esto sería posible en aproximadamente 100 segundos (menos de 2 minutos).¹² Cuando llegan a la pulpa, bloquean la sensibilidad del diente al controlar los impulsos nerviosos bajo la vigilancia de un nanoordenador. Una vez finalizado el tratamiento, el dentista ordena a los nanobots que restauren la sensibilidad y posteriormente su salida del diente, lo que le otorgaría al paciente una cita odontológica libre de ansiedad y sin agujas.¹³ Se estima que la anestesia con los nanobots sería de acción rápida y reversible, sin efectos secundarios ni complicaciones.

Bloqueo de los túbulos dentinarios para aliviar la hipersensibilidad

La hipersensibilidad se origina por cambios en la

presión transmitida hidrodinámicamente a la pulpa. Los túbulos dentinarios de un diente hipersensible tienen el doble de diámetro y son ocho veces más abundantes que los dientes no sensibles. Estas características llevarían al uso de nanobots que ocluyan los túbulos de manera selectiva y precisa en minutos, utilizando material propio del diente, ofreciendo así a los pacientes un tratamiento rápido y permanente.¹⁴

Dentífricos nanorobóticos (dentifrobots) /Enjuague Bucal

Los dentífricos nanorobóticos o conocidos como dentifrobots tienen una dimensión entre 1-10 μm , podrían ser administrados a través de un enjuague bucal o una pasta dental, llegando a cubrir todas las superficies subgingivales, con la función de metabolizar la materia orgánica atrapada en vapores inofensivos e inodoros.¹⁵ Los dentifrobots tendrían fármacos diseñados genéticamente para hacer frente a los microorganismos patógenos en especial con el *Streptococo mutans*, llegando a convertirse en una posible "vacuna" contra la caries dental.¹⁶ De tal manera que, los dentifrobots correctamente programados podrían distinguir y aniquilar otras bacterias patógenas presentes en la cavidad oral que producen halitosis y periodontopatías, pero a su vez se respetaría la presencia de aproximadamente 500 especies de bacterias inoñas o saprofitas de la microflora.⁴ Estos dentifrobots invisiblemente pequeños son dispositivos puramente mecánicos que se desactivan de forma segura cuando se ingieren.

Tratamiento dental estético o rehabilitador

En la odontología actual se encuentra en auge el uso del implante dental para ayudar a reemplazar uno o varios dientes ausentes, seguido por un período de osteointegración y su posterior rehabilitación colocando una corona o prótesis sobre el implante. Esta técnica de rehabilitación tiene sus ventajas y desventajas. Siendo un procedimiento que por ser quirúrgico induce malestar al paciente, ya que se requiere de varias sesiones, y en el peor de los casos el implante puede ser rechazado por el organismo.¹⁷ Las técnicas nanodentales implicarán procedimientos genéticos de ingeniería de tejidos, fabricación de nanobots para el crecimiento de un diente nuevo in vitro, seguido de su instalación en los alvéolos dentales. La nanoterapia de sustitución completa de la dentición con dientes biológicos, incluidos ambos compuestos minerales y celulares, tendría la ventaja de ser posible en una sesión.^{17,18}

Los nanobots dentales reconstructivos mantendrán el diente natural y mejorará su aspecto estético es decir en términos de color, textura y durabilidad mediante la sustitución de las capas superiores del esmalte con materiales biocompatibles, como zafiro y diamante, con una dureza de

20-100 veces más que el esmalte natural y, por lo tanto, mayor resistencia a la fractura. Además, con la ayuda de los nanobots dentales reconstructivos, controlados a distancia y funcionando juntos podrían retirar la amalgama y hacer una restauración estética.^{18,19}

Ortodoncia

Con la elaboración de nanobots ortodóncicos se podrían examinar los tejidos periodontales, encía, ligamento, cemento y hueso alveolar y así conseguir un movimiento rápido del diente en tiempo de minutos a horas y sin dolor.²⁰ Los robots de ortodoncia permitirían el enderezado, la rotación y el reposicionamiento vertical de los dientes sin dolor, así como una rápida reparación de los tejidos. Se está estudiando un nuevo alambre de acero inoxidable que utilizaría nanotecnología combinada con una resistencia ultra alta a la corrosión.²¹

Nanotecnología en endodoncia

Una definición simple de nanotecnología es la "creación de materiales funcionales con estructuras de tamaño de 100 nm o menos".²² En la especialidad de endodoncia existe un número considerable de actividades de investigación en curso que intentan mejorar varios aspectos de la gestión clínica, uno de ellos son los materiales de nanorelleno. Algunas nanopartículas poseen propiedades antimicrobianas que podrían mejorar la eficacia de los materiales endodónticos, las soluciones de irrigación y los medicamentos intraconductos, debido a su diminuto tamaño y su capacidad para extenderse a áreas anatómicas complejas de los conductos radiculares. Por ende, se espera que con la creación de materiales "nanomodificados" se podría mejorar la calidad del tratamiento endodóntico.²³

Desinfección a base de nanopartículas en endodoncia

La desinfección de los conductos radiculares con nanopartículas ha conseguido reconocimiento en los últimos años, por la amplia actividad espectro-bacteriana. Las nanopartículas utilizadas con mayor frecuencia en endodoncia incluyen: quitosano, óxido de zinc y plata. Las nanopartículas de quitosano y óxido de zinc son eficaces contra *Enterococcus faecalis* por su capacidad al alterar la pared celular y por desintegrar las biopelículas dentro del sistema de conductos radiculares. En la actualidad se están evaluando nanopartículas de plata para ser usadas como agentes desinfectantes del conducto radicular.²⁴

Materiales para la regeneración endodóntica

Los dientes con pulpas degeneradas y necrosis se tratan mediante la terapia endodóntica, los tratamientos endodónticos modernos brindan altos niveles de éxito para varias

enfermedades. Sin embargo, una manera óptima de tratamiento podría radicar en enfoques regenerativos, es decir, en el que los tejidos pulpares enfermos o necróticos sean reemplazados con tejidos pulpares sanos para revitalizar los dientes. En el estudio de Fioretti et al., demostró que a-MSH (péptidos de melanocortina) poseen propiedades antiinflamatorias y promueven la proliferación de fibroblastos pulpares.²⁵

Selladores de conductos radiculares

Los investigadores han estudiado los cristales de nanohidroxiapatita (NHA) (279nm) como la composición principal del nuevo biotipo de relleno del conducto radicular a base de cemento de fosfato de calcio en dientes extraídos. Este sellador exhibió propiedades antimicrobianas más fuertes contra *Actinomyces naeslundii*, *Porphyromonas gingivalis*, *Porphyromonas endodontalis* y *Fusobacterium nucleatum* que los selladores regulares, además, demostró una microfiltración insignificante en comparación con diferentes materiales de relleno.²⁵

Avances y limitaciones del uso de nanobots en aplicaciones médicas y odontológicas registrados en el año 2021 Como se ha mencionado anteriormente en el presente artículo los nanobots tienen varias aplicaciones potenciales en la medicina y odontología, por ejemplo, el tratamiento del cáncer, cirugía, control de diabetes, medicina de precisión, etc. Sin embargo, aún existen muchas ventajas y desventajas del implementar nanobots en la salud de la población enfocada a la prevención de enfermedades.

Los futuros nanobots médicos se pueden utilizar para muchas aplicaciones principalmente como la focalización y el diagnóstico temprano del cáncer, además se aumenta la posibilidad de la administración de genes, y análisis de signos vitales, en la mayoría de estas aplicaciones el requisito importante del nanobot es la administración del fármaco al lugar específico.²⁶ Puesto que, la administración del fármaco es uno de los aspectos claves en operaciones como la reparación de tejidos, la limpieza de vasos sanguíneos y vías respiratorias, además de la administración del fármaco únicamente a las células infectadas.²⁶

Sin embargo, los nanobots se enfrentan a algunas limitaciones que incluyen altos costos de diseño, desarrollo, alta complejidad y dificultad para el movimiento dentro del ser humano, esto se debe, a la naturaleza viscosa de la sangre a nano escala, es casi imposible o muy complicado que los nanobots portadores de fármacos pasen a través de los vasos sanguíneos. El movimiento browniano provoca colisiones entre moléculas por lo cual el comportamiento del nanobot se volvería impredecible e incontrolable. Por lo tanto, esta inestabilidad ha sido una limitación importante y un desafío crítico que en la actualidad los investigadores

están tratando de superar. Otro de los desafíos importantes es desarrollar sensores de retroalimentación apropiados para facilitar el control autónomo de los nanobots a una escala más profunda.²⁷

Los nanobots deben ser altamente efectivos, específicos, controlables, económicos en la producción en masa y completamente operativos con un monitoreo mínimo, por lo tanto, deben ser lo suficientemente pequeños como para no deteriorar los tejidos sanos al ingresar al cuerpo pero contradictoriamente en el área de la nano robótica se dice que deben ser lo suficientemente grandes para manejar señales endógenas y exógenas de múltiples sistemas de detección del nanobot una vez haya ingresado al cuerpo.^{26,27}

Una vez que se ha mencionado de manera breve acerca del tamaño del nanobot, se presenta otro desafío que actualmente enfrentan los investigadores que incluye diseñar y fabricar nanobots en dimensiones por debajo del rango nanométrico y poder programar y coordinar una gran cantidad de nanobots también conocidos como enjambres. Además, de recalcar otros problemas de diseño específico como la detección, la navegación, la comunicación de potencia, la locomoción y la manipulación de los componentes de los nanobots son desafíos críticos en el área de la nano robótica.²⁶

Actualmente, los investigadores se encuentran orientados en el desarrollo de nanobots bioinspirados, estos se componen de varios componentes biológicos y podrían realizar tareas biológicas preprogramadas a nivel celular. El mayor inconveniente al desarrollar los nanobots bioinspirados es establecer una conexión válida entre componentes orgánicos e inorgánicos.²⁸

Es importante recalcar que la aplicación en un futuro de los micro-nanomotores en seres humanos, como, la administración de fármacos deberá superar el aclaramiento del sistema inmunológico para no perderse como material extraño dentro del organismo, es decir, además de aumentar la administración de fármacos y la eficacia terapéutica, es fundamental superar el sistema inmunológico del huésped. Además, los nanobots deben suministrar terapia con un alto grado de precisión al contactar el sitio; por lo tanto, el motor deberá poder penetrar a través de las barreras proporcionadas por las células y los tejidos hasta áreas distantes del organismo huésped, para ser utilizado de manera efectiva en diversas aplicaciones biomédicas, el diseño de vehículos micro / nano es de vital importancia en el desempeño de la misión dada al nanobot.²⁶

En conclusión, incluso considerando los avances recientes en el campo de los nanobots, este campo aún está lejos de ser utilizado en aplicaciones clínicas, debido a los

problemas relacionados con la biocompatibilidad, la toxicidad y los riesgos asociados con la introducción de los nanobots en el cuerpo aún siguen pendientes y necesitan una consideración adecuada y estudios de investigación experimental. Por estas razones los organismos reguladores como la FDA (Administración de Drogas y Alimentos de los EE. UU.) todavía dudan en la aprobación de tales sistemas, ya que faltan regulaciones gubernamentales.²⁹

CONCLUSIONES

La nanotecnología en medicina y odontología aún enfrentan muchos desafíos. Sin embargo, con el descubrimiento de los nanobots en el campo de la nanotecnología daría esperanzas para la prevención, diagnóstico y tratamiento de muchas enfermedades graves o inclusive enfermedades que hasta la actualidad no existe cura como: el cáncer, enfermedades cardíacas, trastornos genéticos, VIH, diabetes, rotura de cálculos renales, reparar la hemostasia, reparación o reconstrucción de tejidos dañados con efectos secundarios mínimos. En el campo de la odontología se prevé que con la ayuda de los nanobots se podría inducir la anestesia sin la necesidad de utilizar agujas, es decir, sería un procedimiento indoloro que disminuiría la ansiedad en muchos pacientes, además, con los dentifrobots especializados o programados podrían prevenir la caries dental a través de enjuagues bucales, otras áreas odontológicas favorecidas con el uso de nanobots serían: endodoncia, rehabilitación oral y ortodoncia. El futuro de la odontología y medicina cambiarían por completo con el uso de los nanobots, puesto que tendría un efecto profundo en el cuidado de la salud y la vida humana. Daría una nueva visión a la atención integral de la salud que conducirá a más cambios en la intervención preventiva que en la curativa. No obstante, es necesario abordar y superar grandes desafíos que involucran normas éticas y de seguridad, debido a que no existen en la actualidad estudios realizados en seres humanos utilizando nanobots, por ende, la importancia de que más investigadores se sumen a este importante tema, y que así, en un futuro se pueda curar enfermedades en cuestión de minutos mejorando y extendiendo la vida del ser humano.

Conflicto de interés:

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Financiamiento:

Ninguno

Contribuciones de los autores: Samaniego Mayra en la ejecución, desarrollo del tema, redacción del artículo, búsqueda bibliográfica, Moscoso María Elizabeth en la presentación del tema, redacción del artículo, búsqueda bibliográfica, Calle María Daniela y Quito Érica en la revisión del artículo.

Correspondencia:

Mayra Casandra Samaniego Urrego
 Correo electrónico: mayritasamaniego1@gmail.com
 Cuenca, Ecuador

Referencias Bibliográficas

1. Delgado Ramos, Gian Carlo, Promesas y peligros de la nanotecnología. *Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas* [Internet]. 2004; (9): 0. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18100908>
2. Cantín L Mario, Vilos O Cristian, Suazo G Iván. Nanodontología: el Futuro de la Odontología Basada en Sistemas Nanotecnológicos. *Int. J. Odontostomat.* [Internet]. 2010 Sep [citado 2020 Nov 24]; 4(2): 127-132. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielol.php?script=sci_arttext&pid=S0718-381X2010000200005&lng=es. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-381X2010000200005>.
3. Martínez R, Abdalá H, Treviño E, Garza G Pozas A, Rivera G. Aplicación de la nanotecnología en odontología: Nano-odontología. *Rev CES Odontología.* [Internet]. 2011 Sep. [citado 2020 Nov 24]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3824813>
4. Rifat, T., Hossain, MS, Alaṁ, MM y Rouf, AS (2019). Una revisión sobre las aplicaciones de los nanobots en la lucha contra enfermedades complejas. *Revista farmacéutica de Bangladesh*, 22 (1), 99-108. <https://doi.org/10.3329/bpj.v22i1.40081>
5. Moreno Frigols JL, Valls Planells O. *Nanorobots, la terapéutica del futuro*. 1ed. Valencia: Academia de farmacia de la comunitat valenciana; 2019.
6. Soto, F, Wang J, Ahmed R, Demirci U, Micro / Nanorobots médicos en medicina de precisión. *Rev Adv. Sci.* [Internet]. 2020 [citado 2020 Dic 13]. 1(7): 1-34. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/advs.202002203>
7. Pájaro Castro N, Olivero Verbel J, Redondo Padilla J. Nanotecnología aplicada a la medicina. *Revista Científica Guillermo de Ockham.* [Internet]. 2013 [citado 2020 Dic 16]; 11(1):125-133. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105327548010>
8. Mazumder S, Biswas G, Majee S. Aplicaciones de nanorobots en técnicas médicas. [Internet]. 2020 [citado 2020 Dic 13]; 11(7): 3150-3159. Disponible en: <https://ijpsr.com/bft-article/applications-of-nanorobots-in-medical-techniques/?view=fulltext#:~:text=The%20use%20of%20nanorobots%20may,spot%20and%20break%20it%20up>.
9. Bhatt P, Kumar A, Shukla R. "Nanorobots" Avances recientes y futuros en la terapia del cáncer y la odontología: una revisión. *American Journal of PharmTech Research.* [Internet]. 2019 [citado 2020 Dic 13];9(3):321-331. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/1029/3ad85eae5f61f01a6beff65d01541c5ec656.pdf>
10. Shrikant M. Nanotecnología para cirujanos. *Indian J Surg.* [Internet]. 2012 [citado 2020 Dic 20]; 75(6): 485-492. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3900744/>
11. Yamaan Saadeh BS, Dinesh Vyas MD. Aplicaciones nanorobóticas en medicina: propuestas y diseños actuales. *Am J Robot Surg.* [Internet]. 2014 [citado 2020 Dic 18]; 1(1): 4-11. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4562685/>
12. Padovani GC, Feitosa VP, Sauro S, Tay FR, Durán G, Paula AJ, Durán N. Advances in Dental Materials through Nanotechnology: Facts, Perspectives and Toxicological Aspects. *Trends Biotechnol.* [Internet]. 2015 [citado 2020 Dic 13]; 33(11): 621-636. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26493710/>
13. Rawan N. AlKahtani. Las implicaciones y aplicaciones de la nanotecnología en odontología: una revisión *Rev The Saudi Dental Journal.* [Internet]. 2018 [citado 2020 Dic 13]; 30(2): 107-116. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1013905218300038>
14. Das A, Nasim I. Nanotecnología en odontología: una revisión. *J Adv Pharm Edu Res.* [Internet]. 2017 [citado 2020 Dic 16]; 7(2): 43-45. Disponible en: https://www.speronline.com/japer/Articlefile/JAPER_37_2017.pdf
15. Shetty NJ, Swati P, David K. Nanorobots: futuro en odontología. *The Saudi dental journal.* [Internet]. 2013 [citado 2020 Dic 18]; 25(2): 49-52. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23960556/>
16. Abou Neel EA, Bozec L, Perez RA, Kim HW, Knowles JC. Nanotecnología en odontología: prevención, diagnóstico y terapia. *International journal of nanomedicine.* [Internet]. 2015 [citado 2020 Dic 16]; 8(10):6371-6394. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26504385/>
17. Dumitrescu AM, Dascalu C. Nanorobots dentales instrumentos pequeños con grandes potenciales. *Revista rumana de rehabilitación oral.* [Internet]. 2011 [citado 2020 Dic 13]; 3(4): 77-83. Disponible en: <http://www.r-jor.ro/dental-nanorobots-%E2%80%93small-instruments-with-large-potential/>
18. Molina G, Palma S. Nanotecnología en Odontología: Aspectos generales y posibles aplicaciones. *Revista Methodo: Investigación Aplicada a las Ciencias Biológicas.* Universidad Católica de Córdoba. [Internet]. 2018 [citado 2020 Dic 16]; 3(3):59-66. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6559963#:~:text=Estos%20peque%C3%B1os%20compuestos%20tienen%20potenciales,mec%C3%A1nico%2C%20biol%C3%B3gico%20y%20%C3%B3ptico%20de>

19. Fuente Hernández J, Álvarez Pérez MA, Sifuentes Valenzuela MC. Uso de nuevas tecnologías en odontología. *Rev. Odont. Mex* [Internet]. 2011 Sep [citado 2020 Dic 18]; 15(3): 157-162. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-199X2011000300004&lng=es.
20. Andrade Vera F, Muñoz Macías N, Solorzano Intriago J. Avances de la Periodoncia en el siglo XXI. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria de Ciencias de la Salud. Salud y Vida.* [Internet]. 2019 [citado 2020 Dic 13]; 3(6): 394-415. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7097528>
21. De la Paz Suárez T, Garcia Alguasil Cd, Pérez Espinoza Y. Logros y perspectivas de las nanotecnologías en estomatología. *Revista Electrónica Dr. Zoilo E. Marinello Vidaurreta.* [Internet]. 2015 [citado 2020 Dic 13] 41(1). Disponible en: <http://revzoilomarinellosld.sld.cu/index.php/zmv/article/view/354>
22. Akbarianrad N, Mohammadian F, Alhuyi Nazari M, Rahbani Nobar B. Aplicaciones de la nanotecnología en endodoncia: una revisión. *Nanomed J.* [Internet]. 2018 [citado 2020 Dic 13] 5(3): 121-126. Disponible en: https://nmj.mums.ac.ir/article_11153.html
23. Cuculino L, Gutmann J. Aplicaciones prospectivas de la nanotecnología en endodoncia: una breve descripción. *ENDO EPT.* [Internet]. 2020 [citado 2020 Dic 16]; 14(2):103-110. Disponible en: http://www.quintpub.com/userhome/endo/endo-ept_14_2_cuculino_p103.pdf
24. Markan S, Lehl G, Kapoor S. Avances recientes de la Nanotecnología en Endodoncia, Conservadora y Revisión de Odontología Preventiva-A. *J Dent Biol Oral.* [Internet]. 2017 [citado 2020 Dic 13]; 2(10): 1-4. Disponible en: <http://www.remedypublications.com/open-access/recent-advances-of-nanotechnology-in-endodontics-conservative-and-preventive-dentistry-a-review-4692.pdf>
25. Alenazy MS, Mosadomi HA, Al-Nazhan S, Rayyan MR. Consideraciones clínicas de los nanobiomateriales en endodoncia: una revisión sistemática. *Saudi Endod J.* [Internet]. 2018 [citado 2020 Dic 15]; 8(3): 163-169. Disponible en: <https://www.saudiendodj.com/article.aspx?issn=1658-5984;-year=2018;volume=8;issue=3;spage=163;epage=169;aulast=Alenazy>
26. Giri, G.; Maddahi, Y.; Zareinia, K. A Brief Review on Challenges in Design and Development of Nanorobots for Medical Applications. *Appl. Sci.* 2021, 11, 10385. <https://doi.org/10.3390/app112110385>
27. Xu, K. Liu, B. Recent progress in actuation technologies of micro/nanorobots. *Beilstein J. Nanotechnol.* 2021, 12, 756–765. doi:10.3762/bjnano.12.59
28. Moore, Sarah. 2021. An Overview of Nanobots and the Most Recent Developments. *AZoNano*, viewed 12 December 2021. Available in: <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5761>.
29. Mani, Shubhangi & Sachdeva, Shivani & Mani, Amit & Vora, Hiral & Gholap, Sonali & Sodhi, Jasleen. (2021). Nano-robotics: The future of health and dental care. *IP International Journal of Periodontology and Implantology.* 6. 6-10. 10.18231/j.ijpi.2021.002.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Yang Yang J, Zhang C, Wang XD, Wang WX, Xi N, Liu L. Desarrollo de micro y nanorobótica: una revisión. *Sci China Tech Sci.* [Internet]. 2018 [citado 2020 Dic 13]; 1(62): 1-20. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11431-018-9339-8#citeas>
2. Fernández Agis D, Ramírez Naranjo J. La nanorobótica: fundamentos epistemológicos e impacto social. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad.* [Internet]. 2017 [citado 2020 Dic 13] 13(38). Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/924/92457956002/html/index.html>
3. Andhari, S.S., Wavhale, R.D., Dhobale, K.D. et al. Magneto-Nanobots autopropulsados dirigidos para la penetración profunda de tumores y la administración intracelular de fármacos con respuesta al pH. *Sci Rep.* [Internet]. 2020 [citado 2020 Dic 13] 10 (4703). Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-61586-y#citeas>
4. Gutierrez B, Bermúdez CV, Ureña YRC, et al. Nanobots: desarrollo y futuro *Int J Biosen Bioelectron.* [Internet]. 2017 [citado 2020 Dic 15]; 2(5): 146-151. Disponible en: <https://medcraveonline.com/IJBSBE/nanobots-development-and-future.html>
5. Blanco Bea Duani, Pérez Tejada Alain, Acuña Pardo Arlenis, Carreño Cuador Jenry. Nanomedicina: aspectos generales de un futuro promisorio. *Rev haban cienc méd* [Internet]. 2011 Sep [citado 2020 Dic 16]; 10(3): 410-421. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2011000300018&lng=es
6. Ahmad U, Faiyazuddin Md. Nanobots: el futuro en nanomedicina y bioterapéutica. *J Nanomedicine Biotherapeutic Discov.* [Internet]. 2016 [citado 2020 Dic 13]; 6(1): 1-3. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Usama_Ahmad/publication/303698395_Smart_Nanobots_The_Future_in_Nanomedicine_and_Biotherapeutics/links/574e596b08ae061b33038ce2.pdf
7. Pájaro Castro N, Olivero Verbel J, Redondo Padilla J. Nanotecnología aplicada a la medicina. *Revista Científica Guillermo de Ockham.* [Internet]. 2013 [citado 2020 Dic 16]; 11(1):125-133. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105327548010>

Recibido: 04 Agosto 2021

Aceptado: 13 Diciembre 2021