

Concientifica



El futuro de los materiales antimicrobianos

The future of antimicrobial materials

Ravichandran Manisekaran
Veronica Campos-Ibarra*

Laboratorio de Investigación Interdisciplinaria, Área de nanoestructuras y biomateriales, Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad León, Universidad Autónoma Nacional de México, Leon 37689, Guanajuato, México.

*Autor para la correspondencia:
vcamposi@enes.unam.mx

Resumen

Los adelantos tecnológicos nos permiten explorar nuevas fronteras y crear escenarios de ciudades limpias y sostenibles, sin enfermedades contagiosas, principalmente debido al desarrollo de la nanotecnología y robots descontaminantes, para proporcionar un entorno seguro que beneficie a toda la sociedad. Actualmente, las investigaciones exploran diferentes alternativas para crear superficies antimicrobianas en cerámicas, aleaciones, fibras, materiales híbridos, entre otros, para ser utilizadas en dispositivos médicos y dentales, en espacios hospitalarios, laboratorio, clínicas, aeropuertos y otros lugares donde la salud e higiene son necesarias. Esto es altamente deseable. Sin embargo, las implicaciones éticas y el impacto ambiental también deben ser exploradas.

Palabras clave: Agentes antimicrobianos, dispositivos médicos, nanotecnología.

Summary

Technological advances allow us to explore new frontiers and create scenarios of clean and sustainable cities, without contagious diseases, mainly due to the development of nanotechnology and decontaminating robots to provide a safe environment that benefits the entire society. Currently scientists are exploring different alternatives to create antimicrobial surfaces on to ceramics, alloys, fibers, hybrid materials, etc., which is used in medical and dental devices, in hospital spaces, laboratories, dental clinics and other places where health and hygiene are necessary. This is highly desirable. However, the ethical implications and environmental impact must also be explored.

Keywords: Antimicrobial agents, nanotechnology, medical devices.

Introducción

Antes del descubrimiento de los antibióticos, enfermedades como la meningitis, tuberculosis y enfermedades de vías respiratorias no tenían cura en el 90% de los afectados. Sin embargo, los materiales antimicrobianos nos han acompañado a lo largo de la historia previniendo la propagación de enfermedades.

En la antigüedad, la cultura egipcia utilizaba remedios como la mirra o vendajes impregnados con canela para el tratamiento de heridas y el control del moho durante el embalsamado, respectivamente. Con el tiempo, diferentes culturas integraron metales como el cobre, la plata y el plomo para el tratamiento de superficies y de procesos infecciosos. Las sustancias protectoras ayudaban a combatir los peligros para la salud que en épocas medievales llevaban a la muerte. También, estos materiales se utilizaban por la capacidad biocida de su superficie o para disminuir la formación de biopelículas, lo que reducía el riesgo de infecciones.

Bacterias y ecosistema

Los beneficios del uso de materiales y dis-

positivos biomédicos son ampliamente conocidos, ya sea como agentes de soporte vital o auxiliares en el diagnóstico y en el tratamiento de enfermedades. No obstante, es necesario evaluar los efectos que tienen dentro del organismo, donde pueden originar un cambio en el ecosistema y servir como una superficie para la colonización bacteriana. Los microorganismos asociados a infecciones por el uso de dispositivos médicos agravan los cuadros hospitalarios ya que muchos de ellos presentan resistencia a los antibióticos.

En el 2017, las infecciones asociadas al uso de dispositivos médicos como por ejemplo catéteres, prótesis o apósitos entre otros, fueron responsables de 3.2 millones de casos y de 37,000 muertes solo en la unión europea. Pero ¿Cómo llegan estas bacterias a los dispositivos médicos?

El cuerpo humano cuenta con un rico ecosistema bacteriano que participa en procesos de la salud y enfermedad, ya sea en la piel, boca u otras cavidades. Solo en la cavidad bucal existen más de 700 especies microbianas, principalmente especies de *Streptococcus* y *Actinomyces*, se pueden adherir a las superficies de los biomateriales y ocasionar infecciones o enfermedades inflamatorias y llevar al rechazo de tratamientos que utilizan aparatos intraorales o implantes. Un ejemplo es la estomatitis protésica, enfermedad que ocasiona inflamación, dolor y pérdida de la función en el paciente debido a una prótesis total o parcial removible mal adaptada, deficientes hábitos de higiene e infección micótica. Esta afección está presente en el 67% de los portadores de prótesis totales. De los pacientes afectados, el 18% presentará infección recurrente en los siguientes 6 meses, después del tratamiento y recambio de la prótesis dañada. Se estima que para el 2050 el 14% de los adultos mayores de 60 años se verán afectados por la estomatitis protésica. Estas predicciones mantienen a los investigadores trabajando en estrategias para inhibir el crecimiento microbiano en las superficies para bases de dentadu-

ras, explorando con diferentes nanopartículas como son las de plata, oxido de titanio, cobre, oro y nanodiamantes, entre otros. Incluyendo métodos de incorporación sencillos y rápidos para que el operador dental los pueda manipular.

Además, mantener un entorno descontaminado es crucial en el tratamiento de pacientes hospitalizados o inmunocomprometidos que, por alguna razón, tienen en su organismo dispositivos a largo plazo. En la pasada década el número de patentes registradas con propiedades antimicrobianas a base de plata aumentó de 400 en el 2011 a más de 1400 para el 2017. Al 2024 se puede decir que se ha superado la contaminación en el almacenamiento de alimentos. Mientras que continua la búsqueda de mejoras en productos registrados para el cuidado personal (antisépticos, cepillos de dientes, lentes de contacto, etc.) o de uso médico (vendas, dispositivos vasculares, polímeros para dentaduras, etc.) con **nanopartículas de plata** [1] (Figura 1).

Así, los materiales antimicrobianos a base de nanotecnología, ofrecen una barrera de protección adicional, previniendo enfermedades y manteniendo los

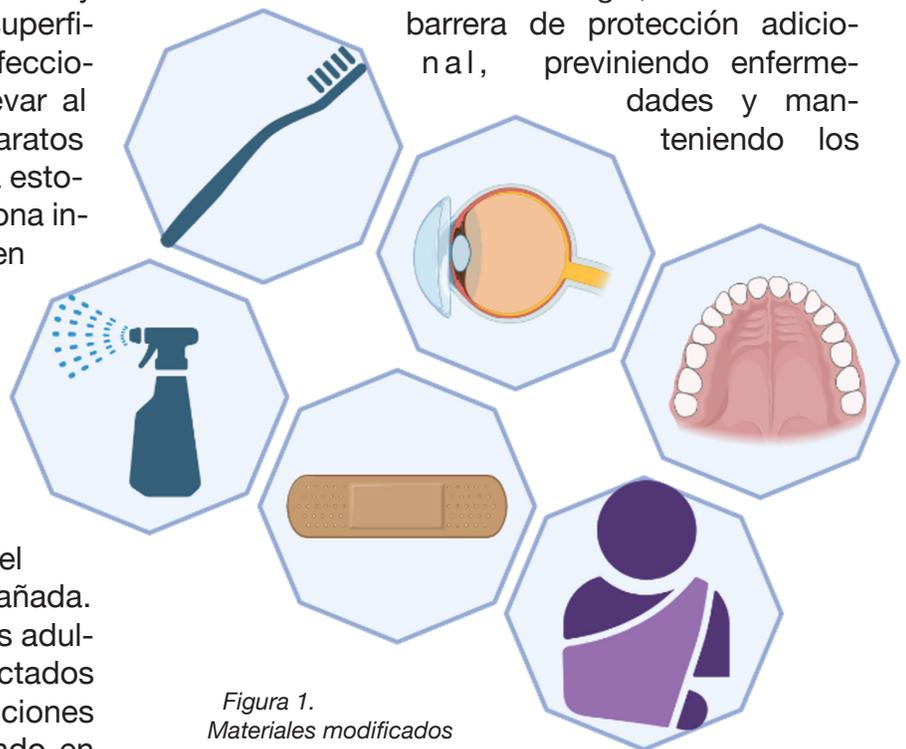


Figura 1.
Materiales modificados con nanopartículas de plata.
Imagen realizada por los autores en Biorender.

espacios higiénicos. Su uso se ha vuelto cada vez más frecuente en el cuidado de la salud y el bienestar de las personas, pero también es importante cuestionarse sobre el uso indiscriminado de estos materiales en el área de la salud y su impacto en el equilibrio ecológico.

Dispositivos antimicrobianos

En la actualidad, existen más de 2 millones de dispositivos médicos de alta demanda, relacionados con el control de infecciones durante el cuidado de la salud. La nanotecnología es trascendental para el campo biomédico; los nanomateriales se utilizan en implantes dentales y de cadera, prótesis faciales y bucales, catéteres, stents, brackets y en dispositivos de la unidad de cuidados intensivos para el soporte vital. Las tecnologías empleadas para el

desarrollo de dispositivos biomédicos, utilizan la nanotecnología para crear superficies autohigiénicas incorporando agentes antimicrobianos como el cobre, la plata y el zinc (Figura 2).

Los nanomateriales benefician directamente a los pacientes proporcionándoles dispositivos más duraderos y reduciendo los recambios que muchas veces requieren procedimientos incómodos y riesgosos para el usuario, como puede ser el uso de catéteres centrales.

Sin embargo, se recomienda a los profesionales de la salud considerar las siguientes 4 sugerencias para un uso responsable de los nanomateriales y dispositivos antimicrobianos para evitar resistencia microbiana y desechos no deseados al medio ambiente:

1. Tener conocimiento del agente antimicrobiano y su interacción con dispositivos y patógenos con los que entrará en contacto.
2. Valorar el uso selectivo del paciente portador dando preferencia a aquellos que atraviesan por alguna enfermedad inmunosupresora, tratamientos contra el cáncer, enfermedades genéticas o crónico degenerativas como la diabetes e hipertensión arterial.
3. Ampliar su uso cuando existan situaciones de salud mundial como en pandemias o en la presencia de virus emergentes.
4. Realizar protocolos de bioseguridad que comprenda desde la fabricación del dispositivo y su uso hasta un desecho adecuado para que no afecte al medio ambiente.

En el caso de los materiales que cuentan con nanotecnología, es indispensable que el dispositivo se degrade después de su uso y se recupere el agente antimicrobiano, esto se puede lograr con la creación de medidas públicas y gubernamentales, que se implementen en el sector salud, y así mantener el

Nanomateriales antimicrobianos y sus aplicaciones biomédicas

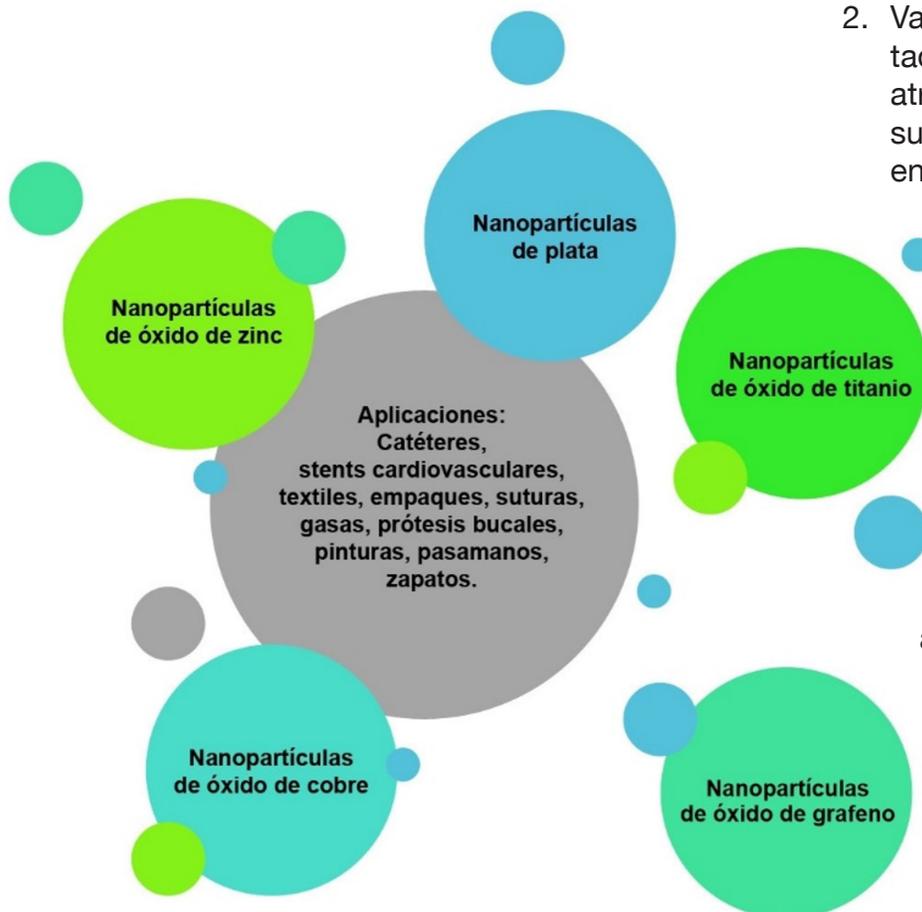


Figura 2. Nanotecnología aplicada en superficies antimicrobianas.

equilibrio bacteriano en la tierra, agua y organismos.

Aplicaciones futuras

El uso de la **nanotecnología** en pinturas y superficies, en sensores para la detección de contaminantes o en drones dispersores de desinfectantes para el control de patógenos ya no es producto de la imaginación. Actualmente los agentes fotocatalíticos brindan una fuente inagotable de iones que inactivan a los virus. Los nuevos materiales a base de carbono limpian las aguas de contaminantes, por lo que las reservas de lagos y ríos pueden llegar a ser inagotables. Así, estamos en camino de que estos materiales impacten en la calidad de vida de las personas y el medio ambiente.

Con el uso de la nanotecnología los dispositivos médicos podrán ser utilizados por más tiempo, sin riesgo de contaminación o formación de biopelículas en su superficie. Los antibióticos se utilizarán con poca frecuencia y disminuirá la resistencia bacteriana. Las superficies autohigiénicas pueden contribuir en la prevención de la diseminación de patógenos causantes de pandemias y epidemias, como la pasada COVID19. Todo esto de forma hipotética pero sustentado por las más de 2,445,517 publicaciones relacionadas con el estudio de superficies antimicrobianas utilizando enzimas, antibióticos, nanopartículas metálicas, entre otros (fuente: resultado global de una búsqueda en Google scholar utilizando las palabras clave antimicrobial surfaces, acceso: 15 de junio de 2024). Por lo tanto, es un campo prometedor para futuras aplicaciones en diversas áreas de la vida, como la biomédica para la prevención de infecciones secundarias.

Implicaciones éticas y desafíos

Los materiales antimicrobianos no son específicos para el 1% de las bacterias virus y hongos que producen enfermedades. Por esto, aunque los nanomateriales son una excelente estrategia para matar a los microorganismos patógenos, también pueden afectar a aquellos que son necesarios, cuando se utilizan en con-

tacto con el organismo o se desechan sin protocolos de bioseguridad.

Plantear un futuro con materiales antimicrobianos no implica eliminar a todos los organismos unicelulares, como las **bacterias**, que han existido en la tierra desde hace millones de años. Los microorganismos son los seres más abundantes sobre la tierra, se estima que se encuentran en una proporción de 3×10^{29} aproximadamente [2], es decir más de 10 mil millones de microorganismos en un gramo de tierra [3]. En nuestro propio cuerpo humano representan hasta el 2% del peso total, es decir, más de lo que pesa el hígado o la materia gris de nuestro cerebro.

Sin embargo, existe un enorme vacío en las pruebas sobre el impacto y toxicidad de los nanomateriales. Por ejemplo, las evaluaciones de toxicidad de un material, en su mayoría se realizan con estudios *in vitro* y con un grupo mínimo de probetas, por lo que no proporcionan un efecto comparable a su uso clínico.

Por otra parte, debido a su tamaño diminuto, las nanopartículas pueden penetrar fácilmente a través de la piel y mucosas, por inhalación o digestión etc., lo que puede conducir a su acumulación en los órganos y provocar efectos letales después de una exposición prolongada y a dosis nocivas para los organismos vivos. Por lo que es importante determinar dosis y tiempo de exposición real de estos materiales para todos los usuarios y personal que se encuentra en contacto con ellos. Además, los investigadores que trabajan con nanomateriales a menudo tienen una mayor exposición directa y pueden presentar efectos tóxicos si no cuentan con las barreras de protección adecuadas.

En el caso de las nanopartículas antimicrobianas, aunque son muy eficaces contra los microorganismos patógenos disminuyendo su crecimiento o erradicándolos por completo, en la práctica pueden activar el sistema inmunitario del organismo y tener efectos secundarios.

En la actualidad, muchos productos cos-

méticos y de higiene personal, entre otros, se desarrollan y venden directamente sin estudios a profundidad, lo que aumenta la exposición de los individuos a los nanomateriales. Una preocupación de los consumidores es la migración de nanopartículas como las de plata y cobre a los alimentos ya que se ha comprobado su presencia en diferentes productos para bebés como biberones, chupones y bolsas para leche materna sin ser parte de su composición original [4]. En el caso del óxido de titanio (TiO_2), su tamaño pequeño predispone a su superficie a ser fotoreactiva, provocando daños oxidativos sobre los microorganismos, pero también produce efectos no deseados en otros organismos como los peces que entran en contacto con el TiO_2 .

Por lo tanto, es de considerar que el ciclo de vida de un material antimicrobiano elaborado con nanotecnología incluye la producción de nanomateriales, su almacenamiento, uso, desecho y reciclaje, o eliminación al medio ambiente donde los nanomateriales pueden tomar cualquiera de las siguientes vías: 1) transportación, 2) transformación o 3) degradación. Que a su vez implica un impacto al medio ambiente y a los organismos que entran en contacto con ellos [5].

Por ello, antes de aprobar un producto nanotecnológico en el mercado o para uso clínico, los distintos organismos reguladores deben aplicar una estricta normativa. Existen varios laboratorios especializados en nanotoxicología que estudian los efectos a corto y largo plazo de diversos materiales. Por lo tanto, los autores creemos que los gobiernos deberían imponer una normativa y una gobernanza estricta para regular y proteger el uso de nanomateriales y su potencial toxicidad en diferentes niveles de vida. **iBIO**

Referencias

- [1] Sim, W., Barnard, R. T., Blaskovich, M. A. T., Ziora, Z. M. (2018). Antimicrobial silver in medicinal and consumer applications: A patent review of the past decade (2007–2017). *Antibiotics*, 7(4), 93. <https://doi.org/10.3390/antibiotics7040093>
- [2] Flemming, H. C., Wuertz, S. (2019). Bacteria and archaea on Earth and their abundance in biofilms. *Nat Rev Microbiol* 17, 247–260. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0158-9>
- [3] Berlanga, M., Guerrero, R. (2017). La complejidad de lo simple: la célula bacteriana. *Química Viva* 16(2), 11–19.
- [4] Ding, R., Yang, P., Yang, Y., Yang, Z., Luo, L., Li, H., & Wang, Q. (2018). Characterisation of silver release from nanoparticle-treated baby products. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35(10), 2052–2061. <https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1480064>
- [5] Pan, B., Li, S., Peng, H., Ao, C., Wei, Z., Xing, B. (2023). Chapter One - Advances in understanding the processes and cycling of nanoparticles in the terrestrial environment. En Sparks, Donald L. (ed.): *Advances in Agronomy* vol. 182 (pp.1-79). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2023.06.001>