Sanitas
Revista arbitrada de ciencias de la salud
Vol. 5(especial5), 1-6, 2026
https://doi.org/10.62574/nc38w873

Innovaciones en materiales antibacterianos y su aplicación en bioseguridad, revestimientos, textiles y EPP avanzados

Innovations in antibacterial materials and their application in biosafety, coatings, textiles and advanced PPE

Bianca Yessenia Chagcha-López
biancacl41@uniandes.edu.ec
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ecuador
https://orcid.org/0009-0002-4549-0472

Diana Carolina Freire-Villena
ua.dianafv53@uniandes.edu.ec
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ecuador
https://orcid.org/0009-0009-8018-8341

RESUMEN

Objetivo: analizar la evidencia sobre los materiales antibacterianos aplicados a superficies, textiles y equipos de protección personal en el ámbito de la bioseguridad. **Método:** revisión narrativa de la literatura en PubMed y SciELO, orientada con la escala SANRA, que priorizó revisiones, ensayos clínicos y estudios experimentales publicados entre 2006 y 2022. **Resultados:** la plata, el cobre, el óxido de zinc y el dióxido de titanio actúan mediante la liberación de iones, el daño a la membrana y la generación de especies reactivas de oxígeno. En cuidados intensivos, las superficies de cobre redujeron las infecciones asociadas a la atención sanitaria del 8,1 % al 3,4 %, aunque la evidencia global sigue siendo escasa. Los textiles y equipos de protección con acabados antimicrobianos enfrentan problemas de durabilidad, toxicidad y resistencia bacteriana. **Conclusión:** estos materiales complementan, pero no reemplazan, la higiene de manos, la limpieza y la desinfección convencionales.
Descriptores: nanopartículas del metal; equipo de protección personal; infección hospitalaria. (Fuente, DeCS).

ABSTRACT

Objective: To analyse the evidence on antibacterial materials applied to surfaces, textiles and personal protective equipment in the field of biosafety. **Method:** Narrative literature review in PubMed and SciELO, guided by the SANRA scale, prioritising reviews, clinical trials and experimental studies published between 2006 and 2022. **Results:** Silver, copper, zinc oxide and titanium dioxide act through ion release, membrane damage and the generation of reactive oxygen species. In intensive care, copper surfaces reduced healthcare-associated infections from 8.1% to 3.4%, although the overall evidence remains scarce. Textiles and protective equipment with antimicrobial finishes face problems of durability, toxicity and bacterial resistance. **Conclusion:** These materials complement, but do not replace, hand hygiene, cleaning and conventional disinfection.
Descriptors: metal nanoparticles; personal protective equipment; cross infection. (Source, DeCS).

Recibido: 04/08/2026. Revisado: 12/08/2026. Aprobado: 15/09/2026. Publicado: 01/10/2026.
Original breve

INTRODUCCIÓN

La resistencia a los antimicrobianos se ha convertido en una de las principales amenazas para la salud pública. Según el análisis de Murray et al., en 2019 las bacterias resistentes se asociaron con 4,95 millones de muertes en el mundo, de las cuales 1,27 millones fueron directamente atribuibles a la resistencia (1). Frente a este panorama, la prevención de la transmisión adquiere tanta importancia como el desarrollo de nuevos fármacos.

En ese sentido, las superficies del entorno sanitario funcionan como reservorios silenciosos. La revisión sistemática de Kramer et al. mostró que patógenos como Staphylococcus aureus resistente a la meticilina, Enterococcus y Acinetobacter pueden sobrevivir durante meses sobre superficies secas e inanimadas (2). El problema no es exclusivo de los hospitales: en la consulta odontológica, los aerosoles, el instrumental y las superficies de trabajo constituyen vías reconocidas de transmisión de bacterias y virus entre pacientes y profesionales (3).

Por ello, la ciencia de los materiales ha propuesto superficies, tejidos y equipos capaces de inactivar microorganismos de forma continua, sin depender exclusivamente de la desinfección periódica. El objetivo de esta revisión fue analizar la evidencia sobre los materiales antibacterianos aplicados a superficies, textiles y equipos de protección personal en el ámbito de la bioseguridad.

MÉTODO

Se realizó una revisión narrativa de la literatura en las bases PubMed y SciELO, con combinaciones de los términos antibacterial agents, metal nanoparticles, copper, silver, antimicrobial textiles, personal protective equipment y cross infection, y sus equivalentes en español. Se priorizaron revisiones sistemáticas, ensayos clínicos y estudios experimentales publicados entre 2006 y 2022, que describieran mecanismos de acción, eficacia o seguridad de los materiales. Los documentos se eligieron por su pertinencia temática y la calidad de la síntesis se orientó con la escala SANRA para revisiones narrativas (4).

RESULTADOS

La Tabla 1 resume los principales materiales identificados, su mecanismo de acción, sus aplicaciones y sus limitaciones:

Tabla 1. *Principales materiales antibacterianos aplicados a la bioseguridad.*

Material	Mecanismo principal	Aplicaciones	Limitaciones
Plata y sus nanopartículas	Liberación de iones, unión a la membrana y especies reactivas de oxígeno	Revestimientos, textiles, apósitos	Resistencia bacteriana adaptativa; toxicidad y acumulación en tejidos
Cobre metálico y aleaciones	Muerte por contacto con daño de membrana y del ADN	Superficies de alto contacto en hospitales	Evidencia clínica escasa; costo de instalación
Óxido de zinc	Especies reactivas de oxígeno y liberación de iones de zinc	Recubrimientos y tejidos	Eficacia dependiente del tamaño y la concentración
Dióxido de titanio	Fotocatálisis con generación de radicales	Superficies autodesinfectantes	Requiere activación con luz ultravioleta
Acabados textiles	Compuestos de amonio cuaternario, quitosano o metales	Uniformes, batas y mascarillas	Pérdida de actividad con el lavado; impacto ambiental

Fuente: elaboración propia (2026).

Mecanismos de acción de los metales

A grandes rasgos, los metales actúan sobre varias dianas a la vez. Lemire et al. describieron que su toxicidad para las bacterias se explica por la producción de especies reactivas de oxígeno, la alteración de proteínas y enzimas, el daño de la membrana y la interferencia con la captación de nutrientes (5). Esta acción múltiple dificulta, aunque no impide, la aparición de resistencia. En el caso de la plata, Rai et al. destacaron que sus nanopartículas tienen actividad de amplio espectro gracias a su elevada relación entre superficie y volumen, que favorece la liberación sostenida de iones (6).

Revestimientos y superficies de contacto

En cuanto a las superficies, Grass et al. demostraron que el cobre metálico elimina bacterias en minutos u horas mediante un fenómeno denominado muerte por contacto, en el que los iones de cobre dañan la membrana y el material genético (7). El dato clínico más sólido procede del ensayo de Salgado et al., quienes instalaron superficies de cobre en habitaciones de cuidados intensivos de tres hospitales y observaron, en 614 pacientes, una reducción de las infecciones asociadas a la atención sanitaria del 8,1 % al 3,4 % (8). Sin embargo, la revisión sistemática de Muller et al. concluyó que la evidencia sobre superficies antimicrobianas es todavía limitada y de baja calidad, por lo que no permite recomendar su uso generalizado (9).

Junto al cobre, otros óxidos metálicos ofrecen alternativas. Sirelkhatim et al. señalaron que las nanopartículas de óxido de zinc generan especies reactivas de oxígeno y liberan iones de zinc, con una eficacia que depende del tamaño de la partícula y de su concentración (10). Por su parte, Foster et al. describieron que el dióxido de titanio inactiva bacterias, virus y hongos mediante fotocatálisis, aunque necesita luz ultravioleta para activarse, lo que restringe su uso en espacios interiores (11).

Textiles y equipos de protección personal

En lo que respecta a los tejidos, Morais et al. revisaron los acabados antimicrobianos más utilizados, como la plata, los compuestos de amonio cuaternario y el quitosano, y advirtieron que muchos pierden actividad tras ciclos repetidos de lavado (12). Durante la pandemia de COVID-19, Karim et al. analizaron los equipos de protección personal y propusieron incorporar acabados antimicrobianos y antivirales en batas y mascarillas, aunque alertaron sobre el impacto ambiental de las prendas sintéticas de un solo uso (13).

Seguridad y resistencia

No obstante, estos materiales no están exentos de riesgos. Panáček et al. comprobaron que Escherichia coli y Pseudomonas aeruginosa desarrollan resistencia a las nanopartículas de plata tras exposiciones repetidas, mediante la producción de flagelina que provoca la agregación de las partículas (14). Además, Ferdous y Nemmar recopilaron evidencia de que estas nanopartículas pueden distribuirse en el hígado, el bazo y los pulmones, con efectos tóxicos que dependen de la dosis y de la vía de exposición (15).

DISCUSIÓN

De entrada, la evidencia revisada muestra que los materiales antibacterianos cuentan con mecanismos biológicamente plausibles y con resultados consistentes en el laboratorio (5,6,10,11). La verdad es que el paso a la práctica clínica ha sido más lento: el ensayo con superficies de cobre es uno de los pocos que midió desenlaces en pacientes (8), y la síntesis disponible lo considera insuficiente para establecer recomendaciones firmes (9).

Por otra parte, su incorporación plantea dilemas que no deben subestimarse. La posibilidad de inducir resistencia a la plata (14) y su toxicidad potencial (15) obligan a usar estos agentes con el mismo criterio de prudencia que se aplica a los antibióticos. A ello se suma la pérdida de eficacia de los textiles con el lavado (12) y el costo ambiental de los equipos desechables (13), aspectos que condicionan su sostenibilidad.

Ahora bien, en contextos como la odontología, donde la generación de aerosoles es constante (3) y los patógenos persisten durante meses en las superficies (2), estos materiales pueden aportar una barrera adicional. Dicho de otro modo, su valor reside en complementar la higiene de manos, la limpieza y la desinfección, no en sustituirlas. Se requieren ensayos clínicos con desenlaces de infección, evaluaciones de durabilidad y estudios de costo-efectividad en países de ingresos medios.

Entre las limitaciones de esta revisión, el enfoque narrativo no incluyó un protocolo sistemático de búsqueda ni una evaluación formal del riesgo de sesgo, de modo que la selección pudo omitir estudios relevantes.

CONCLUSIÓN

Los materiales antibacterianos basados en plata, cobre, óxido de zinc y dióxido de titanio inactivan microorganismos mediante la liberación de iones, el daño a la membrana y la generación de especies reactivas de oxígeno, y su aplicación en superficies, textiles y equipos de protección personal amplía las herramientas de bioseguridad. Sin embargo, la evidencia clínica es todavía limitada y persisten interrogantes sobre su durabilidad, su toxicidad y la aparición de resistencia. En consecuencia, deben considerarse un complemento de las medidas convencionales de control de infecciones.

FINANCIAMIENTO

No monetario.

CONFLICTO DE INTERÉS

No existe conflicto de interés con personas o instituciones ligadas a la investigación.

AGRADECIMIENTOS

A UNIANDES.

REFERENCIAS

1. Murray CJL, Ikuta KS, Sharara F, Swetschinski L, Robles Aguilar G, Gray A, et al. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. Lancet. 2022;399(10325):629-55.
2. Kramer A, Schwebke I, Kampf G. How long do nosocomial pathogens persist on inanimate surfaces? A systematic review. BMC Infect Dis. 2006;6:130.
3. Laheij AMGA, Kistler JO, Belibasakis GN, Välimaa H, de Soet JJ. Healthcare-associated viral and bacterial infections in dentistry. J Oral Microbiol. 2012;4:17659.
4. Baethge C, Goldbeck-Wood S, Mertens S. SANRA-a scale for the quality assessment of narrative review articles. Res Integr Peer Rev. 2019;4:5.
5. Lemire JA, Harrison JJ, Turner RJ. Antimicrobial activity of metals: mechanisms, molecular targets and applications. Nat Rev Microbiol. 2013;11(6):371-84.
6. Rai M, Yadav A, Gade A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. Biotechnol Adv. 2009;27(1):76-83.
7. Grass G, Rensing C, Solioz M. Metallic copper as an antimicrobial surface. Appl Environ Microbiol. 2011;77(5):1541-7.
8. Salgado CD, Sepkowitz KA, John JF, Cantey JR, Attaway HH, Freeman KD, et al. Copper surfaces reduce the rate of healthcare-acquired infections in the intensive care unit. Infect Control Hosp Epidemiol. 2013;34(5):479-86.
9. Muller MP, MacDougall C, Lim M. Antimicrobial surfaces to prevent healthcare-associated infections: a systematic review. J Hosp Infect. 2016;92(1):7-13.

10. Sirelkhatim A, Mahmud S, Seeni A, Kaus NHM, Ann LC, Bakhori SKM, et al. Review on zinc oxide nanoparticles: antibacterial activity and toxicity mechanism. Nanomicro Lett. 2015;7(3):219-42.
11. Foster HA, Ditta IB, Varghese S, Steele A. Photocatalytic disinfection using titanium dioxide: spectrum and mechanism of antimicrobial activity. Appl Microbiol Biotechnol. 2011;90(6):1847-68.
12. Morais DS, Guedes RM, Lopes MA. Antimicrobial approaches for textiles: from research to market. Materials (Basel). 2016;9(6):498.
13. Karim N, Afroj S, Lloyd K, Oaten LC, Andreeva DV, Carr C, et al. Sustainable personal protective clothing for healthcare applications: a review. ACS Nano. 2020;14(10):12313-40.
14. Panáček A, Kvítek L, Smékalová M, Večeřová R, Kolář M, Röderová M, et al. Bacterial resistance to silver nanoparticles and how to overcome it. Nat Nanotechnol. 2018;13(1):65-71.
15. Ferdous Z, Nemmar A. Health impact of silver nanoparticles: a review of the biodistribution and toxicity following various routes of exposure. Int J Mol Sci. 2020;21(7):2375.

Derechos de autor: 2026 Por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/