

TEXTILES FUNCIONALES COMO BARRERA DE PROTECCIÓN ANTE INFECCIONES ASOCIADAS A LA ATENCIÓN EN SALUD

✉ JENNIFFER ZAPATA-GIRALDO¹
LUZ E. BOTERO²
MÓNICA L MEJÍA³
NELSON ESCOBAR-MORA⁴
ISABEL ORTIZ-TRUJILLO⁵
BEATRIZ J. GALEANO U.⁶
LINA M. HOYOS⁷
DIANA CUESTA⁸

RESUMEN

Los tejidos reforzados con nanoestructuras se ha convertido en un área de la investigación que busca contener la transmisión de microorganismos relacionados con las infecciones asociadas a la atención en salud, un problema de salud pública conlleva una alta carga de morbi-mortalidad en la población y pérdidas millonarias de recursos económicos. Las nanopartículas metálicas y óxido metálicas son agentes antimicrobianos que han cobrado importancia por su amplia

- 1 Ingeniera Biomédica, estudiante de Maestría en Ingeniería – Área Biomédica, Línea Microbiología de Sistemas, Grupo de Investigación Biología de Sistemas, Escuela de Ciencias de la Salud, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede central Medellín.
- 2 Bacterióloga y laboratorista clínica, PhD Ciencias Médicas, docente titular Facultad de Medicina, Coordinadora Línea Microbiología de Sistemas, Grupo de Investigación Biología de Sistemas, Escuela de Ciencias de la Salud, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede central Medellín.
- 3 Ingeniera Biomédica, estudiante de Maestría en Ingeniería – Área Biomédica, Línea Ingeniería Clínica, Grupo de Investigaciones en Bioingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede central Medellín.
- 4 Ingeniero Mecánico, MSc Ingeniería. Coordinador de laboratorios de química y operaciones unitarias, Línea Ingeniería Clínica, Grupo de Investigaciones en Bioingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede central Medellín.
- 5 Bióloga, PhD. Biología, docente titular Facultad Medicina. Coordinadora Grupo de Investigación Biología de Sistemas, Coordinadora Línea Mutagénesis y Epigenética Ambiental, Grupo de Investigación Biología de Sistemas, Escuela de Ciencias de la Salud, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede central Medellín.
- 6 Ingeniera Mecánica, MSc Ingeniería. Coordinadora de Grupo de Investigaciones en Bioingeniería, Coordinadora Línea Ingeniería Clínica, Grupo de Investigaciones en Bioingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede central Medellín.
- 7 Ingeniera Química, PhD. Ingeniería, docente investigador, Coordinadora Línea Nanosistemas, Grupo de Investigación Biología de Sistemas, Escuela de Ciencias de la Salud, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede central Medellín.
- 8 Epidemiología, docente titular Facultad de Medicina, Coordinadora de Línea de Epidemiología, Grupo de Investigación en Salud Pública, Escuela de Ciencias de la Salud, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede central Medellín.



Autor de correspondencia: Zapata Giraldo J. (Jennifer):
Universidad Pontificia Bolivariana, Sede central Medellín,
circular 1, No.70-01, Medellín, Colombia. Tel.: (4) 4488
388, ext. 19333.
Correo electrónico: jennifer.zapata@upb.edu.co

Historia del artículo:

Artículo recibido: 03-X-2017 / Aprobado: 23-IV-2017
Disponible online: 3 de mayo 2018
Discusión abierta hasta octubre de 2019

aplicación. Esta revisión narrativa examina la evidencia científica de textiles funcionales con propiedades antimicrobianas como una estrategia para contener la transmisión de microorganismos relacionados con infecciones asociadas a la atención en salud, a partir del contexto de los textiles como fuente de contaminación e infección y los mecanismos antimicrobianos de las diferentes nanopartículas usadas como reforzantes para lograr un textil funcional. El desarrollo de la nanotecnología permite el progreso en diferentes campos de la ciencia y oportunidades en el ámbito de textiles funcionales.

PALABRAS CLAVE: Nanopartículas, Infecciones asociadas a la atención en salud, Control de la infección, Microbicidas, Textiles.

FUNCTIONAL TEXTILES AS A PROTECTIVE BARRIER FOR HEALTH CARE ASSOCIATED INFECTIONS

ABSTRACT

Fibers reinforced with nanostructures has become an area of research that seeks to contain the transmission of microorganisms connected with health care associated infections, a public health problem that carries high burden of morbidity and mortality in the population and millions of dollars lost. Metal and metal oxide nanoparticles are known to be antimicrobial agents with wide application. This narrative review aims to examine the scientific evidence of functional textiles with antimicrobial properties as a strategy to contain the transmission of microorganisms related with health care associated infections, starting from the context of textiles as a source of contamination and infection, and the antimicrobial mechanisms of the different nanoparticles used as reinforcers to achieve a functional textile. The development of nanotechnology will allow progress in different fields of science and opportunities in functional textiles.

KEYWORDS: Nanoparticles, Health care associated infections, Infection control, Microbicides, Textiles.

TÊXTEIS FUNCIONAIS COMO BARREIRA À PROTEÇÃO CONTRA INFEÇÕES ASSOCIADAS AOS CUIDADOS DE SAÚDE

RESUMO

O tecido reforçado nanoestrutural tornou-se uma área de pesquisa que busca conter a transmissão de microorganismos relacionados a infecções associadas com cuidados de saúde, um problema de saúde pública carrega uma carga elevada de morbidade e mortalidade na população e perdas milionários de recursos econômicos. As nanopartículas metálicas e os óxidos metálicos são agentes antimicrobianos que ganharam importância devido à sua ampla aplicação. Esta revisão narrativa examina a evidência científica de têxteis funcionais com propriedades antimicrobianas como estratégia para conter a transmissão de microorganismos relacionados a infecções associadas com cuidados de saúde, do contexto de têxteis como fonte de contaminação e infecção e mecanismos antimicrobianos de as diferentes nanopartículas utilizadas como reforçadores para atingir um tecido funcional. O desenvolvimento da nanotecnologia permite o progresso em diferentes campos da ciência e oportunidades no campo dos têxteis funcionais.

PALAVRAS-CHAVE: Nanopartículas, Infecções associadas com cuidados de saúde, Controle de infecção, Microbicidas, Têxteis.

1. INTRODUCCIÓN

Las infecciones asociadas a la atención en salud (IAAS), se definen como “*aquellas infecciones que el paciente adquiere mientras recibe tratamiento para alguna condición médica o quirúrgica y en quien la infección, no se había manifestado ni estaba en período de incubación en el momento del ingreso a la institución*” (OMS, n.d.). Representan un importante problema sanitario y financiero en el mundo debido a la alta incidencia, a la morbilidad y mortalidad asociada y a la carga económica que imponen a pacientes, personal sanitario y sistemas de salud (PAHO, 2012).

En países en vía de desarrollo las IAAS ocurren en cada 6 a 20 de 100 pacientes mientras que en países desarrollados en 4-12%. En Estados Unidos y Europa se estima que ocasionan entre 99 y 110 mil muertes anuales y 16 millones de días de estancia extra en hospitales (WHO, 2011)(Klevens *et al.*, 2007)(Allegranzi *et al.*, 2011). Según el Centro de Control de Enfermedades (CDC), los costos médicos anuales de infecciones en el ámbito hospitalario en Estados Unidos oscilaron entre \$ 28 y \$ 45 mil millones de dólares hacia el 2007. En América Latina, a pesar de que las IAAS son una causa importante de morbilidad y mortalidad, se desconoce la carga de enfermedad producida por este tipo de infecciones, aunque algunos países e instituciones se han aproximado a su cuantificación de manera independiente (PAHO, 2012).

La adquisición de las IAAS tiene en cuenta tres factores determinantes, la susceptibilidad del huésped, la virulencia del agente y el ambiente. Este último factor incluye el ambiente animado representado por el personal de salud, otros pacientes, y personas que acuden a la visita hospitalaria; mientras que el ambiente inanimado incluye el instrumental y equipos médicos, así como las superficies ambientales.

La contaminación de superficies del ambiente hospitalario varía de acuerdo con la humedad ambiental, la orientación vertical u horizontal de la superficie, la ventilación adecuada, la frecuen-

cia de recambio de filtros de purificación del aire, el número de personas y tipo de actividad laboral que se realiza. Otros factores que contribuyen son la contaminación y crecimiento microbiano en textiles como cortinas, cubiertas para equipos, material de uso en el cuidado del paciente y del personal de salud como mantas, toallas, batas que están en contacto con fluidos corporales o partículas del ambiente (Sehulster *et al.*, 2004). Una superficie contaminada no indica que causará una infección en un paciente o en el personal de la salud; para que ocurra es necesario completar la cadena de transmisión, es decir, que exista un hospedero susceptible, una puerta de entrada adecuada y un inóculo de microorganismo suficientemente virulento (Valderrama Beltran, Ariza Ayala & Osorio Pinzon, 2010).

La aplicación de nanomateriales en la prevención de IAAS enfocada a las condiciones del ambiente hospitalario ha sido de reciente interés en la comunidad científica. Las nanopartículas (NP) se han utilizado para mejorar las propiedades de textiles existentes y para incorporar nuevas funciones, entre ellas, propiedades antimicrobianas. El uso de textiles funcionales en el ambiente hospitalario podría ser una barrera de protección de IAAS. Esta revisión narrativa pretende examinar la evidencia científica de textiles funcionales con propiedades antimicrobianas como una estrategia para contener la transmisión de microorganismos relacionados con IAAS.

2. TEXTILES HOSPITALARIOS COMO FUENTE DE CONTAMINACIÓN

Existe evidencia del rol que tienen los textiles que se usan en el área de la salud en la supervivencia y transmisión de patógenos en el ambiente hospitalario (Sattar *et al.*, 2001)(Perry, Marshall & Jones, 2001)(Treakle *et al.*, 2009).

Las cortinas, que rodean la cama y brindan privacidad a los pacientes, pueden contaminarse por patógenos asociados a IAAS. Estudios realizados en dos hospitales de Estados Unidos revelaron la presencia de contaminación de las cortinas por

patógenos, incluso resistentes a los antimicrobianos, como *Enterococcus* spp sensible y *Enterococcus* spp resistente a la vancomicina (VRE), *Staphylococcus aureus* meticilino-sensible (MSSA), *S. aureus* meticilino-resistente (MRSA) y *Clostridium difficile* (Trillis *et al.*, 2008)(Ohl *et al.*, 2012). En Colombia, un estudio similar en un centro hospitalario de alta complejidad en Medellín, encontró que 30% de las cortinas de servicios médico-quirúrgicos estaban contaminadas con MRSA, 35% MSSA y 13% con diferentes bacterias Gram negativas (Cataño *et al.*, 2012). Existen tres posibles explicaciones para este hallazgo (i) contacto frecuente de los pacientes y personal de salud con las cortinas; (ii) falta de higiene de manos del personal de salud; (iii) poca frecuencia de cambio o lavado de las cortinas. Una estrategia que pudiera minimizar el impacto de esta contaminación es usar cortinas diseñadas con materiales con propiedades antimicrobianas.

Al igual que las cortinas y otros textiles de uso ambiental, la ropa que utiliza el personal de salud también es susceptible a contaminarse con patógenos; su desplazamiento permanente por los diferentes servicios hospitalarios representa un vehículo de transmisión a superficies, equipos u otro tipo de materiales y la diseminación de microorganismos incluso resistentes a múltiples fármacos. Frecuentemente, los trabajadores de la salud utilizan la misma ropa durante uno o dos días, tiempo suficiente para que se adquieran, retengan y transmitan (directa o indirectamente) patógenos epidemiológicamente importantes como MRSA y VRE a compañeros del trabajo (representando un riesgo laboral), a pacientes y al público en general (Callaghan, 1998).

Diversos estudios dan cuenta de la contaminación de textiles del personal de salud y de la ropa de los pacientes o de cama (Panagea *et al.*, 2005). En un hospital de alta complejidad en Israel se encontró que 50% de la ropa (batas, ropa de cirugía o uniformes) del personal médico y de enfermería estaban contaminados por al menos un patógeno, como *Acinetobacter* spp, *S. aureus* (incluyendo cepas MRSA), Enterobacterias y *Pseudomonas aeruginosa*

(Wiener-Well *et al.*, 2011). Otros estudios en Europa han reportado contaminación con microorganismos asociados con IAAS como *C. difficile*, VRE, *Escherichia coli* (Panagea *et al.*, 2005).

La demostración de la relación entre la contaminación de textiles y la infección directa en pacientes o personal de salud ha sido limitada debido principalmente a la falta de análisis de los textiles cuando se presentan brotes infecciosos. Pocos estudios como los reportados sobre un brote de infecciones asociadas a catéter por *Bacillus cereus* en hospitales de Japón evidenciaron como principal fuente de la infección la contaminación de ropa de cama, las toallas de los pacientes (Sasahara *et al.*, 2011) y del servicio de lavandería (Dohmae *et al.*, 2008).

La ropa constituye una fuente de sustratos para el crecimiento bacteriano debido a que los microorganismos tienden a proliferar en ambientes ricos en proteínas, humedad y suciedad, condiciones fácilmente encontradas en los textiles que viste el personal de salud (Fijan & Turk, 2012)(Boyce, 2007). Adicionalmente, la contaminación de textiles puede ser una fuente de reservorio como se evidenció en un análisis prospectivo durante cuatro semanas de 25 habitaciones de aislamiento de pacientes con MRSA en un hospital de alta complejidad de Irlanda; en más de la mitad de las muestras tanto en camas como colchones fueron positivas para MRSA y 70% de los aislamientos del ambiente eran idénticos o estaban estrechamente relacionados con los obtenidos en los pacientes que habían estado hospitalizados en las habitaciones (Sexton *et al.*, 2006).

Aun cuando existen guías para la limpieza y descontaminación adecuada del ambiente hospitalario, los patógenos poseen mecanismos para adaptarse y sobrevivir durante periodos de tiempo prolongados (Esteves *et al.*, 2016).

Los estudios reportados evidencian que la contaminación de superficies y textiles de la salud persiste posiblemente por fallas en la implementación o poca adherencia de las guías, incrementando con ello el riesgo de adquirir una IAAS (Sehulster *et al.*, 2004)(Ling *et al.*, 2015).

3. NANOMATERIALES CON PROPIEDADES ANTIMICROBIANAS

La nanotecnología ha emergido como un campo multidisciplinario de rápido crecimiento y con una variedad de aplicaciones. La manufactura de nuevos materiales en la escala nanométrica está ligada a sus prometedoras propiedades mecánicas, ópticas, eléctricas, físicas y químicas.

Las nanopartículas (NP) son clústeres de átomos cuyo tamaño en la escala nanométrica corresponde a 1×10^{-9} m; su origen es variable y pueden ser metálicas como las de plata (Ag) y oro (Au) u óxido metálicas como el óxido de zinc (ZnO) y dióxido de titanio (TiO₂). Entre las propiedades de las NP descritas se encuentran su efecto inmunomodulador, facilitan el transporte para liberación controlada de fármacos e importantes propiedades antimicrobianas. Es allí donde el uso de NP puede aplicarse como método de barrera o de limpieza y desinfección en la contención de la transmisión de las IAAS.

A. Nanopartículas de plata (NP-Ag)

Las NP-Ag se han convertido en las NP metálicas más estudiada en diferentes campos como biología, medicina, análisis químico, electrónica, y en la industria farmacéutica, textil y cosmética. En el campo de la medicina son utilizadas en forma de líquidos o aerosoles para la descontaminación y desinfección de espacios y para modificar superficies de varios materiales, en particular fibras o polímeros aplicados a ropa (Oćwieja *et al.*, 2015).

Las NP-Ag no necesitan ser funcionalizadas con antimicrobianos para lograr su efecto, ellas ejercen su actividad antimicrobiana *per se* a través de liberación de iones Ag⁺ que interactúan con la pared o membrana celular y otras estructuras internas de los microorganismos (Brown *et al.*, 2012).

La actividad antimicrobiana de las NP-Ag depende de varios aspectos: el mecanismo de síntesis oxidativa que libera Ag⁺ ofrece un efecto antimicrobiano que es inexistente cuando se obtiene NP por

reducción. El tamaño tiene una relación inversa con el efecto antimicrobiano dado que se facilita el ingreso de las NP al citoplasma y ocasionan daños selectivamente estructurales. Finalmente, las formas que otorgan mayor área de superficie de contacto tienen a su vez mayor efecto antimicrobiano, así la forma triangular truncada supera a las esférica o tipo varilla. (Lok *et al.*, 2007) (Pal, Tak & Song, 2007) (Bera, Mandal & Raj, 2014).

Actividad Antibacteriana

Diferentes estudios han demostrado que las NP-Ag inhiben el crecimiento bacteriano desde el primer contacto de la NP, con efecto bactericida o bacteriostático, inclusive ante las formas resistentes a los fármacos.

El mecanismo de acción descrito inicia desde el contacto con la pared o membrana celular, allí se unen a las partes cargadas negativamente de los grupos de proteínas que contienen disulfuro y fósforo creando poros por los que fluye el contenido citoplasmático al exterior de las células, disipando el gradiente H⁺ de la pared o membrana y algunas veces causando la muerte celular bacteriana (Knetsch & Koole, 2011). El paso de iones Ag⁺ al espacio intracelular produce efectos adicionales como la inhibición de los citocromos de la cadena transportadora de electrones, unión al ADN y ARN ocasionándole daño e inhibiendo la replicación del ADN, denaturación de la subunidad ribosomal 30S, activación de la producción de especies reactivas del oxígeno (ROS), apoptosis e inhibición de la síntesis de pared celular en las bacterias Gram positivas (Lara *et al.*, 2009).

Kim *et al.* (Kim *et al.*, 2007) reportaron que las NP-Ag inhibían el crecimiento de *E. coli* mientras que poseía un efecto medio contra *S. aureus*; estos hallazgos sugieren que la actividad antibacteriana de NP-Ag depende si la bacteria es Gram negativa o Gram positiva, debido probablemente a su diferencia en la composición de la pared celular.

Actividad Antifúngica

Las NP-Ag inhiben el crecimiento de hongos relacionados con las IAAS. El mecanismo de acción descrito comienza con la acumulación de las NP-Ag alrededor de la membrana celular, inducción de la apoptosis a través de la exposición de fosfatidilserina, daño en el ADN, activación de las metacaspasas, disrupción de la integridad de la mitocondria, inducción de liberación de citocromo C e inhibición de formación de biopelículas según lo demostrado por Artunduanga et al. (Artunduanga Bonilla et al., 2015), Kim et al. (Kim et al., 2008)(Kim et al., 2009), Panáček et al. (Panáček et al., 2009), Hwang et al. (Hwang et al., 2012), Monteiro et al. (Monteiro et al., 2011) y Vazquez-Muñoz et al. (Vazquez-Muñoz, Avalos-Borja & Castro-Longoria, 2014).

Actividad Antiviral

Las NP-Ag han demostrado ser agentes antivirales contra un espectro de virus como el de la Inmunodeficiencia Humana (VIH), Influenza y Herpes Simplex (HSV).

El mecanismo antiviral varía de acuerdo al virus. Contra el VIH, HSV-1, HSV-2 y el virus de Parainfluenza humana tipo 3 (HPIV-3) se produce una inhibición de la entrada de partículas virales a las células humanas, afectando la replicación viral (Lara et al., 2010) (Gaikwad et al., 2013). Contra la Influenza H3N2, las NP-Ag destruyen selectivamente la estructura viral uniéndose a la envoltura (Xiang et al., 2013). Es necesario futuros estudios que permitan dilucidar el mecanismo exacto.

Actividad Antiparasitaria

La evidencia de la actividad antiparasitaria es escasa con dos estudios publicados contra *Setaria cervi* y *Echinococcus granulosus*. El efecto escolicida se atribuye a la inducción de apoptosis a través de la generación de ROS y la interacción electrostática entre las NP-Ag cargadas positivamente y el parásito cargado negativamente, esto asociado a complejos

orgánicos de la superficie (Saini et al., 2016)(Rahimi et al., 2015).

b. Nanopartículas de oro (NP-Au)

Las NP-Au poseen extensa aplicación en áreas como medicina, optoelectrónica y materiales compuestos debido a las propiedades que presenta, tales como potencial dieléctrico, no toxicidad y fácil funcionalización. Entre ellas se destacan supresión de tumores, estudios de farmacocinética, liberación controlada de fármacos y genes, ambientales, en industria de alimentos e industria espacial (Zhang et al., 2015).

La actividad antimicrobiana depende del tamaño, la forma, la concentración, las modificaciones en su superficie y los métodos de purificación en el proceso de síntesis.

Actividad Antibacteriana

La actividad antibacteriana de NP-Au ha sido controversial debido a resultados contradictorios en las publicaciones. Se ha reportado que las NP-Au no tienen efecto bactericida (Hernández-Sierra et al., 2008), o que a altas concentraciones se logra un débil resultado (Sreelakshmi et al., 2011). Mientras que algunos autores reportan que la concentración inhibitoria mínima para bacterias es independiente del tamaño (Azam et al., 2009)(Arshi et al., 2011), otros autores concluyen que la efectividad antibacteriana incrementa conjuntamente con el tamaño (Badwaik et al., 2012), y algunos muestran que la es inversa tanto al tamaño como a la concentración (Shamaila et al., 2016). La modificación de la superficie de las NP-Au es determinante al momento de evaluar la actividad antibacteriana. Varios estudios han usado diferentes moléculas con el fin de mejorar la efectividad antibacteriana, demostrando un efecto sinérgico contra bacterias sensibles y resistentes a los fármacos, al igual que bacterias productoras de biopelículas (Brown et al., 2012)(Ramasamy, Lee & Lee, 2016) (Mu et al., 2016). Finalmente, utilizar un método de purificación de las NP-Au previene falsos resultados

antibacterianos debido a la presencia de iones Au (III) o reactivos sin reaccionar en la fase de síntesis.

Los mecanismos relacionados con la actividad antibacteriana de NP-Au comienzan con las fuerzas electrostáticas presentes tanto en la NP como en la bacteria, las cuales permiten la atracción y posterior unión a la pared celular que modifica el potencial de membrana, disminuye los niveles de ATP e induce a la muerte celular (Jacobson *et al.*, 2015) (Cui *et al.*, 2012).

Actividad Antifúngica

Está basada en la interacción directa con las proteínas encargadas de la regulación del gradiente de potencial a través de la membrana celular, lo cual conlleva a un retardo en el crecimiento y finalmente la muerte (Ahmad *et al.*, 2013)(Wani, Ahmad & Manzoor, 2013). No se identificaron estudios que hayan evaluado la actividad antiviral y antiparasitaria de las NP-Au.

c. Nanopartículas de dióxido de titanio (NP-TiO₂)

El dióxido de titanio (TiO₂) es un semiconductor tipo n con tres estructuras cristalinas: anatasa, rutilo y brookita. Tiene propiedades como estabilidad, durabilidad, efecto biocida y actividad fotocatalítica. Entre las aplicaciones se encuentran ambientales, energía, textiles, alimentos y cosméticos (Bogdan, Zarzyńska & Pławińska-Czarnak, 2015).

La propiedad antimicrobiana de las NP-TiO₂ se relaciona con su estructura cristalina anatasa, forma, tamaño y la necesidad de ser activadas con luz UV para alcanzar su efecto.

La actividad fotocatalítica que se da tras la radiación con UVB y UVA, las NP-TiO₂ generan ROS en la forma de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y radicales de hidroxilo (OH[·]), por lo que oxidan compuestos orgánicos de la célula a dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O) (Fu, Vary & Lin, 2005)(Banerjee *et al.*, 2006).

Actividad Antibacteriana

El daño ocasionado por las ROS en la integridad de las paredes y membranas celulares comprometen la semipermeabilidad de la membrana e interfieren con la fosforilación oxidativa ocasionando la muerte de la bacteria (Carré *et al.*, 2014).

Por otra parte, Roy et al. (Aashis S. Roy, 2010) evaluaron el efecto de NP-TiO₂ funcionalizadas con diferentes antibióticos contra *S. aureus* meticilino-resistente y encontraron que las NP-TiO₂ mejoraron el efecto antimicrobiano de los antibióticos beta-lactámicos, cefalosporinas, aminoglucósidos, glicopéptidos, macrólidos, lincosamidas y tetraciclina contra MRSA. En otro experimento, se observó una disminución de la resistencia antimicrobiana de MRSA contra varios de los antibióticos con la presencia de NP-TiO₂.

Actividad Antifúngica

Las NP-TiO₂ poseen actividad antifúngica asociada con la producción de ROS a través de la propiedad de fotocatalisis. Thabet et al. (Thabet *et al.*, 2014) evaluaron esta propiedad contra *Saccharomyces cerevisiae*, encontrando que la generación de ROS y la acumulación del mismo a nivel de la membrana celular son los encargados de la propiedad antifúngica. Por otro lado, diferentes estudios han evaluado NP-TiO₂ contra *C. albicans* encontrando actividad antifúngica (Perelshtein *et al.*, 2012)(Xiao *et al.*, 2014).

Actividad Antiviral

Las NP-TiO₂ han mostrado tener propiedades antivirales contra virus sin dilucidar el mecanismo. Jiang et al. (Jiang *et al.*, 2009) y Cui et al. (Cui *et al.*, 2010) observaron que las NP-TiO₂ en su fase anatasa combinada con Cu⁺² tienen un efecto virucida contra el virus de la Influenza aviar H9N2 bajo una radiación a 365 nm.

Actividad Antiparasitaria

No se encontraron publicaciones de la valoración de la actividad únicamente con NP-TiO₂.

Allahverdiyev et al. (Allahverdiyev *et al.*, 2013) observaron el efecto antiparasitario a partir de una combinación de NP-TiO₂ y NP-Ag en dos especies de *Leishmania*, esta mezcla tuvo la capacidad de inhibir propiedades biológicas como viabilidad, actividad metabólica y supervivencia dentro de las células hospederas. Adicionalmente, se observó el doble del efecto antiparasitario cuando las nanopartículas fueron irradiadas con luz visible.

d. Nanopartículas de óxido de zinc (ZnO)

El óxido de zinc es un semiconductor tipo n con excelentes propiedades eléctricas y ópticas, así como una alta estabilidad química, baja toxicidad y fotocatalisis (Karunakaran, Rajeswari & Gomathisankar, 2011)(Ramani *et al.*, 2013).

Las NP-ZnO al igual que el NP-TiO₂ mejoran su actividad antimicrobiana cuando son irradiadas con UVA debido a las propiedades fotocatalíticas que se dan por la conformación de pares electrón-hueco, que inducen la producción de ROS (Karunakaran, Rajeswari & Gomathisankar, 2011)(Dodd *et al.*, 2006).

Actividad Antibacteriana

El mecanismo de acción del efecto antibacteriano todavía es motivo de estudio, sin embargo se conoce que la actividad antibacteriana de las NP-ZnO depende de la concentración y el tamaño de la nanopartícula, el efecto bactericida aumenta a medida que disminuye el tamaño de las partículas (Huang *et al.*, 2008)(Reddy *et al.*, 2014)(Padmavathy & Vijayaraghavan, 2008). Emami-Karvani et al. (Zarrindokht Emami-Karvani, 2012) encontraron que con la disminución de tamaño de partícula y mayor concentración se aumentó la propiedad antibacteriana contra bacterias Gram negativas (*E. coli*) y Gram positivas (*S. aureus*).

Se han propuesto diferentes mecanismos que influyen el daño bacteriano (Zhang *et al.*, 2008):

- Producción de ROS a partir de iones Zn²⁺ y peróxido de hidrógeno (H₂O₂).
- Acumulación de nanopartículas en la superficie de las bacterias y generación de fuerzas electrostáticas con la pared bacteriana. Xie et al. (Xie *et al.*, 2011) evaluaron la actividad antibacteriana contra *Campylobacter jejuni*. Se encontró que el mecanismo de acción se relacionó con cambios morfológicos de la bacteria (ruptura de la membrana celular) e incremento en la expresión de genes para estrés oxidativo.
- Destrucción de los lípidos y proteínas de la pared celular bacteriana incrementando la permeabilidad, la internalización de las nanopartículas y cambios en la estructura celular.
- Interrupción del transporte de electrones transmembranales.

Azam et al. (Azam *et al.*, 2012) reportaron una comparación de actividad antimicrobiana entre nanopartículas de ZnO, CuO, y Fe₂O₃ en bacterias tanto Gram positivas como Gram negativas. De acuerdo a sus resultados, las nanopartículas con mayor efecto bactericida fueron las de ZnO, mientras que las nanopartículas de Fe₂O₃ exhibieron los menores efectos.

Actividad Antifúngica

Las NP-ZnO poseen actividad antifúngica según Sharma et al. (Sharma *et al.*, 2010), Kairyte et al. (Kairyte, Kadys & Luksiene, 2013) y Gondal et al. (Gondal *et al.*, 2012). Esta propiedad se relaciona con la capacidad fotocatalítica presente en las NP-ZnO y la producción de ROS, las cuales interactúan con la membrana celular de los hongos.

Actividad Antiviral

Las NP-ZnO han demostrado capacidad antiviral contra los virus de HSV-1 y HSV-2. Mishra et al. (Mishra *et al.*, 2011) y Antoine et al. (Antoine *et al.*, 2012) diseñaron micro-nanoestructuras de ZnO denominadas tretápodos que demostraron ser capaces de inhibir la entrada del virus a la célula hospede-

ra, y el potencial de parar la diseminación del virus a lo largo de las células infectadas. El mecanismo detrás de la neutralización del HSV-2 se relaciona con la unión de las NP-ZnO con el virión de HSV-2. Adicionalmente, gracias a la irradiación con luz UVA se obtuvo aún más inhibición del virus.

Actividad Antiparasitaria

De otro lado, se han evidenciado propiedades antiparasitarias contra formas de *Leishmania major*. Delavari et al. (Delavari *et al.*, 2014) observaron que al someter formas de promastigotes de *Leishmania major* bajo diferentes concentraciones de la NP-ZnO, hubo una reducción del parásito debido a apoptosis y necrosis. A las 72 horas de incubación de NP-ZnO con 120 µg/ml se logró una disminución del 93,76% en la viabilidad del parásito.

En la **Tabla 1** se resumen los principales mecanismos antimicrobianos de las nanopartículas.

4. TEXTILES FUNCIONALES: INNOVACIÓN EN PROPIEDADES ANTIMICROBIANAS A TRAVÉS DE NANOPARTÍCULAS

El uso de textiles antimicrobianos en entornos clínicos se asocia a nuevas medidas preventivas que permitan reducir la carga microbiana disponible, disminuyéndose el riesgo de adquirir IAAS (Borkow & Gabbay, 2008) (Shahid-ul-Islam, Butola & Mohammad, 2016). Gracias a los múltiples mecanismos de acción antimicrobiano resumidos en el apartado 3, la industria textil ha incorporado nanopartículas con la finalidad de otorgar a las fibras, características físicas y químicas adicionales, como antimicrobiano, bloqueo de UV, y autolimpieza, convirtiéndoles en textiles funcionales (Álvarez-Paino, Muñoz-Bonilla & Fernández-García, 2017)(Montazer & Maali Amiri, 2014).

TABLA 1. PRINCIPALES MECANISMOS ANTIMICROBIANOS DE LAS NANOPARTÍCULAS METÁLICAS-ÓXIDO METÁLICAS

Mecanismo	Antibacteriano	Antifúngico	Antiviral	Antiparasitario
Liberación de iones metálicos e interacción de la NP con la pared o membrana celular y estructuras internas de microorganismos	Ag ZnO	Ag ZnO	-	Ag ZnO
Acumulación de las nanopartículas alrededor de la pared y/o membrana celular	Ag ZnO Au	Ag ZnO	-	Ag ZnO
Interacción electrostática entre la nanopartícula y el microorganismo	Ag ZnO Au	Ag ZnO TiO ₂	-	-
Destrucción de los lípidos y proteínas de la pared celular	Ag ZnO	-	-	-
Interrupción del transporte de electrones transmembranales	Ag ZnO	-	-	-
Inducción de apoptosis a través de la generación de ROS	Ag ZnO TiO ₂	Ag ZnO TiO ₂	-	Ag ZnO TiO ₂
Inhibición del ingreso a la célula del hospedero	-	-	Ag	-

Los textiles de uso hospitalario deben estar diseñados con materiales no porosos y con texturas regulares que faciliten la limpieza y prevengan el atrapamiento de polvo, deben resistir al proceso de limpieza y desinfección que se utiliza en servicios de salud o contar con un proceso de desinfección propio (Damani, 2012).

Diferentes estudios han evaluado las propiedades antimicrobianas de textiles reforzados con diferentes nanopartículas. Pollini et al. (Pollini *et al.*, 2009), Perera et al. (Perera *et al.*, 2013), Eremenko et al. (Eremenko *et al.*, 2016) y Balakumaran et al. (Balakumaran *et al.*, 2016), incorporaron NP-Ag con diferentes métodos de síntesis a fibras de algodón para evaluar las propiedades antimicrobianas contra bacterias y hongos. Sus hallazgos evidenciaron que únicamente la síntesis *in situ* permitía la formación de NP-Ag distribuidas uniformemente en las fibras y con actividad microbicida la cual se mantenía después del lavado, mientras que con la síntesis *ex situ* los efectos fueron menores. Por otro lado, NP-TiO₂ y NP-TiO₂/Ag han sido exploradas en los trabajos de Dastjerdi et al. (Dastjerdi *et al.*, 2010) y Li et al. (Li *et al.*, 2017). Se evaluó la propiedad antibacteriana obteniendo más de un 99% de eficiencia contra *S. aureus* y *E. coli*.

Los textiles reforzados con NP-ZnO se han estudiado por Petkova et al. (Petkova *et al.*, 2016), Thi et al. (Tran Thi & Lee, 2017), Shaheen et al. (Shaheen *et al.*, 2016) y Uğur et al. (Uğur *et al.*, 2010). En todos los estudios se observa una disminución de unidades formadoras de colonias de microorganismos, que varían entre bacterias y hongos, además de un efecto antimicrobiano prolongado inclusive después de varios lavados industriales.

Por otro lado, Schweizer et al. (Schweizer *et al.*, 2012) y Kotsanas et al. (Kotsanas *et al.*, 2014) desarrollaron estudios clínico en ciertas áreas hospitalarias para evaluar cortinas con NP-Ag propiedades antimicrobianas. Se encontró que el textil con partículas de plata duraba siete días más antes de tener la primera contaminación bacteriana comparado con la cortina estándar, lo cual hace posible dismi-

nuir la transmisión de patógenos (Schweizer *et al.*, 2012). Adicionalmente, se encontró que las cortinas con NP-Ag tuvieron actividad antimicrobiana contra 14 patógenos bacterianos, que incluían *Clostridium difficile*, y al hacer una evaluación costo-efectiva se demostró el uso benéfico de estas cortinas en las unidades de cuidados intensivos (Kotsanas *et al.*, 2014).

Los textiles funcionales que incluyen en su estructura nanopartículas con efectos antimicrobianos tiene propiedades hidrofóbicas por lo que requieren menor frecuencia de lavado, y potencialmente un beneficio ambiental por la reducción de agentes químicos en el cuidado del textil, consumo de agua y energía (Palza, 2015)(Windler, Height & Nowack, 2013)(Sarkar *et al.*, 2012).

5. CONCLUSIONES

Las capacidades que poseen algunos patógenos de persistir en el ambiente hospitalario por periodos de tiempo prolongados y contaminar materiales presentes en las habitaciones de pacientes colonizados, representan un riesgo inminente de generar infecciones asociadas a la atención en salud. Estos microorganismos pueden ser transmitidos a través de las manos del personal de la salud, quienes se convierten en vehículos de transmisión para los pacientes y demás personal de la salud, personas relacionadas con el paciente u otras áreas hospitalarias.

Las instituciones prestadoras de servicios de salud están obligadas a garantizar las medidas necesarias para prevenir, controlar y en lo posible erradicar la propagación de IAAS desde los posibles medios de transmisión, entre ellos los fómites y textiles.

Las nanopartículas tienen un gran potencial como reforzantes en el área textil, debido a que confieren propiedades antimicrobianas. La incorporación de estas nanopartículas en los textiles que se usan en el área de la salud permitiría nuevos tipos de prevención contra la transmisión de IAAS.

Los textiles funcionales para uso hospitalario deben así tener características clave como, propiedades antimicrobianas contra un amplio espectro

de microorganismos, incluso contra aquellos resistentes a los antibióticos, relacionados con IAAS proporcionado ambientes seguros para los humanos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pontificia Bolivariana por la financiación a través de la convocatoria UPB INNOVA 2015, con radicado ante el CIDI 438B-08 / 15-65. A Colciencias por la financiación a través de la convocatoria Ciencia, Tecnología e Innovación en Salud 711-2015, bajo el contrato número 121071149742.

REFERENCIAS

- Aashis S. Roy, A.P. (2010) Effect of Nano - Titanium Dioxide with Different Antibiotics against Methicillin- Resistant Staphylococcus Aureus. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. [Online] 1 (1), 37. Available from: doi:10.4236/jbnb.2010.11005.
- Ahmad, T., Wani, I.A., Lone, I.H., Ganguly, A., et al. (2013) Antifungal activity of gold nanoparticles prepared by solvothermal method. *Materials Research Bulletin*. [Online] 48 (1), 12–20. Available from: doi:10.1016/j.materresbull.2012.09.069.
- Allahverdiyev, A.M., Abamor, E.S., Bagirova, M., Baydar, S.Y., et al. (2013) Investigation of antileishmanial activities of Tio2@Ag nanoparticles on biological properties of *L. tropica* and *L. infantum* parasites, in vitro. *Experimental Parasitology*. [Online] 135 (1), 55–63. Available from: doi:10.1016/j.exppara.2013.06.001.
- Allegranzi, B., Bagheri Nejad, S., Combescure, C., Graafmans, W., et al. (2011) Burden of endemic health-care-associated infection in developing countries: systematic review and meta-analysis. *Lancet (London, England)*. [Online] 377 (9761), 228–241. Available from: doi:10.1016/S0140-6736(10)61458-4.
- Álvarez-Paino, M., Muñoz-Bonilla, A. & Fernández-García, M. (2017) Antimicrobial Polymers in the Nano-World. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*. [Online] 7 (2). Available from: doi:10.3390/nano7020048.
- Antoine, T.E., Mishra, Y.K., Trigilio, J., Tiwari, V., et al. (2012) Prophylactic, therapeutic and neutralizing effects of zinc oxide tetrapod structures against herpes simplex virus type-2 infection. *Antiviral Research*. [Online] 96 (3), 363–375. Available from: doi:10.1016/j.antiviral.2012.09.020.
- Arshi, N., Ahmed, F., Kumar, S., Anwar, M.S., et al. (2011) Microwave assisted synthesis of gold nanoparticles and their antibacterial activity against *Escherichia coli* (E. coli). *Current Applied Physics*. [Online] 11 (1, Supplement), S360–S363. Available from: doi:10.1016/j.cap.2010.11.102.
- Artunduaga Bonilla, J.J., Paredes Guerrero, D.J., Sánchez Suárez, C.I., Ortiz López, C.C., et al. (2015) In vitro antifungal activity of silver nanoparticles against fluconazole-resistant *Candida* species. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. [Online] 31 (11), 1801–1809. Available from: doi:10.1007/s11274-015-1933-z.
- Azam, A., Ahmed, A.S., Oves, M., Khan, M.S., et al. (2012) Antimicrobial activity of metal oxide nanoparticles against Gram-positive and Gram-negative bacteria: A comparative study. *International Journal of Nanomedicine*. [Online] 7, 6003–6009. Available from: doi:10.2147/IJN.S35347.
- Azam, A., Ahmed, F., Arshi, N., Chaman, M., et al. (2009) One step synthesis and characterization of gold nanoparticles and their antibacterial activities against *E. coli* (ATCC 25922 strain). *Int J Theor Appl Sci*. 1 (2), 1–4.
- Badwaik, V.D., Vangala, L.M., Pender, D.S., Willis, C.B., et al. (2012) Size-dependent antimicrobial properties of sugar-encapsulated gold nanoparticles synthesized by a green method. *Nanoscale Research Letters*. [Online] 7 (1), 623. Available from: doi:10.1186/1556-276X-7-623.
- Balakumaran, M.D., Ramachandran, R., Jagadeeswari, S. & Kalaichelvan, P.T. (2016) In vitro biological properties and characterization of nanosilver coated cotton fabrics – An application for antimicrobial textile finishing. *International Biodeterioration & Biodegradation*. [Online] 107, 48–55. Available from: doi:10.1016/j.ibiod.2015.11.011.
- Banerjee, S., Gopal, J., Muraleedharan, P., Tyagi, A.K., et al. (2006) Physics and chemistry of photocatalytic titanium dioxide: visualization of bactericidal activity using atomic force microscopy. *Current Science*. 90 (10), 1378–1383.
- Bera, R.K., Mandal, S.M. & Raj, C.R. (2014) Antimicrobial activity of fluorescent Ag nanoparticles. *Letters in*

- Applied Microbiology*. [Online] 58 (6), 520–526. Available from: doi:10.1111/lam.12222.
- Bogdan, J., Zarzyńska, J. & Pławińska-Czarnak, J. (2015) Comparison of Infectious Agents Susceptibility to Photocatalytic Effects of Nanosized Titanium and Zinc Oxides: A Practical Approach. *Nanoscale Research Letters*. [Online] 10. Available from: doi:10.1186/s11671-015-1023-z.
- Borkow, G. & Gabbay, J. (2008) Biocidal textiles can help fight nosocomial infections. *Medical Hypotheses*. [Online] 70 (5), 990–994. Available from: doi:10.1016/j.mehy.2007.08.025.
- Boyce, J.M. (2007) Environmental contamination makes an important contribution to hospital infection. *The Journal of Hospital Infection*. [Online] 65 Suppl 2, 50–54. Available from: doi:10.1016/S0195-6701(07)60015-2.
- Brown, A.N., Smith, K., Samuels, T.A., Lu, J., et al. (2012) Nanoparticles functionalized with ampicillin destroy multiple-antibiotic-resistant isolates of *Pseudomonas aeruginosa* and *Enterobacter aerogenes* and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Applied and Environmental Microbiology*. [Online] 78 (8), 2768–2774. Available from: doi:10.1128/AEM.06513-11.
- Callaghan, I. (1998) Bacterial contamination of nurses' uniforms: a study. *Nursing Standard (Royal College of Nursing (Great Britain): 1987)*. [Online] 13 (1), 37–42. Available from: doi:10.7748/ns1998.09.13.1.37.c2525.
- Carré, G., Hamon, E., Ennahar, S., Estner, M., et al. (2014) TiO₂ Photocatalysis Damages Lipids and Proteins in *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology*. [Online] 80 (8), 2573–2581. Available from: doi:10.1128/AEM.03995-13.
- Cataño, O, J.C., Echeverri, L.M., Szela, C., et al. (2012) Bacterial Contamination of Clothes and Environmental Items in a Third-Level Hospital in Colombia, Bacterial Contamination of Clothes and Environmental Items in a Third-Level Hospital in Colombia. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases, Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*. [Online] 2012, 2012, e507640. Available from: doi:10.1155/2012/507640, 10.1155/2012/507640.
- Cui, H., Jiang, J., Gu, W., Sun, C., et al. (2010) Photocatalytic Inactivation Efficiency of Anatase Nano-TiO₂ Sol on the H9N2 Avian Influenza Virus. *Photochemistry and Photobiology*. [Online] 86 (5), 1135–1139. Available from: doi:10.1111/j.1751-1097.2010.00763.x.
- Cui, Y., Zhao, Y., Tian, Y., Zhang, W., et al. (2012) The molecular mechanism of action of bactericidal gold nanoparticles on *Escherichia coli*. *Biomaterials*. [Online] 33 (7), 2327–2333. Available from: doi:10.1016/j.biomaterials.2011.11.057.
- Damani, N. (2012) *Manual of Infection Prevention and Control*. 3 edition. Oxford University Press.
- Dastjerdi, R., Mojtahedi, M.R.M., Shoshtari, A.M. & Khosroshahi, A. (2010) Investigating the production and properties of Ag/TiO₂/PP antibacterial nanocomposite filament yarns. *The Journal of The Textile Institute*. [Online] 101 (3), 204–213. Available from: doi:10.1080/00405000802346388.
- Delavari, M., Dalimi, A., Ghaffarifar, F. & Sadraei, J. (2014) In Vitro Study on Cytotoxic Effects of ZnO Nanoparticles on Promastigote and Amastigote Forms of *Leishmania major* (MRHO/IR/75/ER). *Iranian Journal of Parasitology*. 9 (1), 6–13.
- Dodd, A.C., McKinley, A.J., Saunders, M. & Tsuzuki, T. (2006) Effect of Particle Size on the Photocatalytic Activity of Nanoparticulate Zinc Oxide. *Journal of Nanoparticle Research*. [Online] 8 (1), 43–51. Available from: doi:10.1007/s11051-005-5131-z.
- Dohmae, S., Okubo, T., Higuchi, W., Takano, T., et al. (2008) *Bacillus cereus* nosocomial infection from reused towels in Japan. *The Journal of Hospital Infection*. [Online] 69 (4), 361–367. Available from: doi:10.1016/j.jhin.2008.04.014.
- Eremenko, A.M., Petrik, I.S., Smirnova, N.P., Rudenko, A.V., et al. (2016) Antibacterial and Antimycotic Activity of Cotton Fabrics, Impregnated with Silver and Binary Silver/Copper Nanoparticles. *Nanoscale Research Letters*. [Online] 11. Available from: doi:10.1186/s11671-016-1240-0.
- Esteves, D.C., Pereira, V.C., Souza, J.M., Keller, R., et al. (2016) Influence of biological fluids in bacterial viability on different hospital surfaces and fomites. *American Journal of Infection Control*. [Online] 44 (3), 311–314. Available from: doi:10.1016/j.ajic.2015.09.033.
- Fijan, S. & Turk, S.Š. (2012) Hospital textiles, are they a possible vehicle for healthcare-associated infections? *International Journal of Environmental Re-*

- search and Public Health*. [Online] 9 (9), 3330–3343. Available from: doi:10.3390/ijerph9093330.
- Fu, G., Vary, P.S. & Lin, C.-T. (2005) Anatase TiO₂ Nanocomposites for Antimicrobial Coatings. *The Journal of Physical Chemistry B*. [Online] 109 (18), 8889–8898. Available from: doi:10.1021/jp0502196.
- Gaikwad, S., Ingle, A., Gade, A., Rai, M., et al. (2013) Antiviral activity of mycosynthesized silver nanoparticles against herpes simplex virus and human parainfluenza virus type 3. *International Journal of Nanomedicine*. [Online] 8, 4303–4314. Available from: doi:10.2147/IJN.S50070.
- Gondal, M.A., Alzahrani, A.J., Randhawa, M.A. & Siddiqui, M.N. (2012) Morphology and antifungal effect of nano-ZnO and nano-Pd-doped nano-ZnO against *Aspergillus* and *Candida*. *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*. [Online] 47 (10), 1413–1418. Available from: doi:10.1080/10934529.2012.672384.
- Hernández-Sierra, J.F., Ruiz, F., Pena, D.C.C., Martínez-Gutiérrez, F., et al. (2008) The antimicrobial sensitivity of *Streptococcus mutans* to nanoparticles of silver, zinc oxide, and gold. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*. [Online] 4 (3), 237–240. Available from: doi:10.1016/j.nano.2008.04.005.
- Huang, Z., Zheng, X., Yan, D., Yin, G., et al. (2008) Toxicological Effect of ZnO Nanoparticles Based on Bacteria. *Langmuir*. [Online] 24 (8), 4140–4144. Available from: doi:10.1021/la7035949.
- Hwang, I., Lee, J., Hwang, J.H., Kim, K.-J., et al. (2012) Silver nanoparticles induce apoptotic cell death in *Candida albicans* through the increase of hydroxyl radicals. *The FEBS journal*. [Online] 279 (7), 1327–1338. Available from: doi:10.1111/j.1742-4658.2012.08527.x.
- Jacobson, K.H., Gunsolus, I.L., Kuech, T.R., Troiano, J.M., et al. (2015) Lipopolysaccharide Density and Structure Govern the Extent and Distance of Nanoparticle Interaction with Actual and Model Bacterial Outer Membranes. *Environmental Science & Technology*. [Online] 49 (17), 10642–10650. Available from: doi:10.1021/acs.est.5b01841.
- Jiang, J.F., Cui, H.X., Yang, T., Cai, H.C., et al. (2009) Inactivation efficiency of nano-Cu²⁺/TiO₂ on avian influenza (H9N2). *Journal of Functional Materials*. 40, 1403–1406.
- Kairyte, K., Kadys, A. & Luksiene, Z. (2013) Antibacterial and antifungal activity of photoactivated ZnO nanoparticles in suspension. *Journal of Photochemistry and Photobiology. B, Biology*. [Online] 128, 78–84. Available from: doi:10.1016/j.jphoto-biol.2013.07.017.
- Karunakaran, C., Rajeswari, V. & Gomathisankar, P. (2011) Enhanced photocatalytic and antibacterial activities of sol-gel synthesized ZnO and Ag-ZnO. *Materials Science in Semiconductor Processing*. [Online] 14 (2), 133–138. Available from: doi:10.1016/j.mssp.2011.01.017.
- Kim, J.S., Kuk, E., Yu, K.N., Kim, J.-H., et al. (2007) Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*. [Online] 3 (1), 95–101. Available from: doi:10.1016/j.nano.2006.12.001.
- Kim, K.-J., Sung, W.S., Moon, S.-K., Choi, J.-S., et al. (2008) Antifungal effect of silver nanoparticles on dermatophytes. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 18 (8), 1482–1484.
- Kim, K.-J., Sung, W.S., Suh, B.K., Moon, S.-K., et al. (2009) Antifungal activity and mode of action of silver nanoparticles on *Candida albicans*. *Biometals: An International Journal on the Role of Metal Ions in Biology, Biochemistry, and Medicine*. [Online] 22 (2), 235–242. Available from: doi:10.1007/s10534-008-9159-2.
- Klevens, R.M., Edwards, J.R., Richards, C.L., Horan, T.C., et al. (2007) Estimating health care-associated infections and deaths in U.S. hospitals, 2002. *Public Health Reports (Washington, D.C.: 1974)*. 122 (2), 160–166.
- Knetsch, M.L.W. & Koole, L.H. (2011) New strategies in the development of antimicrobial coatings: The example of increasing usage of silver and silver nanoparticles. *Polymers*. [Online] 3 (1), 340–366. Available from: doi:10.3390/polym3010340.
- Kotsanas, D., Wijesooriya, W.R.P.L.L., Sloane, T., Stuart, R.L., et al. (2014) The silver lining of disposable sporicidal privacy curtains in an intensive care unit. *American Journal of Infection Control*. [Online] 42 (4), 366–370. Available from: doi:10.1016/j.ajic.2013.11.013.
- Lara, H.H., Ayala-Núñez, N.V., Ixtapan-Turrent, L. & Rodríguez-Padilla, C. (2010) Mode of antiviral action of silver nanoparticles against HIV-1. *Journal of*

- Nanobiotechnology*. [Online] 8, 1. Available from: doi:10.1186/1477-3155-8-1.
- Lara, H.H., Ayala-Núñez, N.V., Turrent, L. del C.I. & Padilla, C.R. (2009) Bactericidal effect of silver nanoparticles against multidrug-resistant bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. [Online] 26 (4), 615–621. Available from: doi:10.1007/s11274-009-0211-3.
- Li, S., Zhu, T., Huang, J., Guo, Q., et al. (2017) Durable antibacterial and UV-protective Ag/TiO₂@ fabrics for sustainable biomedical application. *International Journal of Nanomedicine*. [Online] 12, 2593–2606. Available from: doi:10.2147/IJN.S132035.
- Ling, M.L., Apisarnthanarak, A., Thu, L.T.A., Villanueva, V., et al. (2015) APSIC Guidelines for environmental cleaning and decontamination. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*. [Online] 4. Available from: doi:10.1186/s13756-015-0099-7.
- Lok, C.-N., Ho, C.-M., Chen, R., He, Q.-Y., et al. (2007) Silver nanoparticles: partial oxidation and antibacterial activities. *Journal of biological inorganic chemistry: JBIC: a publication of the Society of Biological Inorganic Chemistry*. [Online] 12 (4), 527–534. Available from: doi:10.1007/s00775-007-0208-z.
- Mishra, Y.K., Adelung, R., Röhl, C., Shukla, D., et al. (2011) Virostatic potential of micro–nano filopodia-like ZnO structures against herpes simplex virus-1. *Antiviral Research*. [Online] 92 (2), 305–312. Available from: doi:10.1016/j.antiviral.2011.08.017.
- Montazer, M. & Maali Amiri, M. (2014) ZnO nano reactor on textiles and polymers: ex situ and in situ synthesis, application, and characterization. *The Journal of Physical Chemistry. B*. [Online] 118 (6), 1453–1470. Available from: doi:10.1021/jp408532r.
- Monteiro, D.R., Gorup, L.F., Silva, S., Negri, M., et al. (2011) Silver colloidal nanoparticles: antifungal effect against adhered cells and biofilms of *Candida albicans* and *Candida glabrata*. *Biofouling*. [Online] 27 (7), 711–719. Available from: doi:10.1080/08927014.2011.599101.
- Mu, H., Tang, J., Liu, Q., Sun, C., et al. (2016) Potent Antibacterial Nanoparticles against Biofilm and Intracellular Bacteria. *Scientific Reports*. [Online] 6, 18877. Available from: doi:10.1038/srep18877.
- Oćwieja, M., Adamczyk, Z., Morga, M. & Kubiak, K. (2015) Silver particle monolayers — Formation, stability, applications. *Advances in Colloid and Interface Science*. [Online] 222, 530–563. Available from: doi:10.1016/j.cis.2014.07.001.
- Ohl, M., Schweizer, M., Graham, M., Heilmann, K., et al. (2012) Hospital privacy curtains are frequently and rapidly contaminated with potentially pathogenic bacteria. *American Journal of Infection Control*. [Online] 40 (10), 904–906. Available from: doi:10.1016/j.ajic.2011.12.017.
- OMS (n.d.) *Carga mundial de infecciones asociadas a la atención sanitaria*. [Online]. WHO. Available from: http://www.who.int/gpsc/country_work/burden_hcai/es/ [Accessed: 13 January 2016].
- Padmavathy, N. & Vijayaraghavan, R. (2008) Enhanced bioactivity of ZnO nanoparticles—an antimicrobial study. *Science and Technology of Advanced Materials*. [Online] 9 (3), 35004. Available from: doi:10.1088/1468-6996/9/3/035004.
- PAHO (2012) *Vigilancia epidemiológica de las infecciones asociadas a la atención en salud*. [Online]. p.54. Available from: http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=19272&Itemid=.
- Pal, S., Tak, Y.K. & Song, J.M. (2007) Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology*. [Online] 73 (6), 1712–1720. Available from: doi:10.1128/AEM.02218-06.
- Palza, H. (2015) Antimicrobial Polymers with Metal Nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*. [Online] 16 (1), 2099–2116. Available from: doi:10.3390/ijms16012099.
- Panáček, A., Kolár, M., Vecerová, R., Pucek, R., et al. (2009) Antifungal activity of silver nanoparticles against *Candida* spp. *Biomaterials*. [Online] 30 (31), 6333–6340. Available from: doi:10.1016/j.biomaterials.2009.07.065.
- Panagea, S., Winstanley, C., Walshaw, M.J., Ledson, M.J., et al. (2005) Environmental contamination with an epidemic strain of *Pseudomonas aeruginosa* in a Liverpool cystic fibrosis centre, and study of its survival on dry surfaces. *The Journal of Hospital Infection*. [Online] 59 (2), 102–107. Available from: doi:10.1016/j.jhin.2004.09.018.
- Perelshstein, I., Applerot, G., Perkash, N., Grinblat, J., et al. (2012) A one-step process for the antimicrobial finishing of textiles with crystalline TiO₂ nano-

- particles. *Chemistry (Weinheim an Der Bergstrasse, Germany)*. [Online] 18 (15), 4575–4582. Available from: doi:10.1002/chem.201101683.
- Perera, S., Bhushan, B., Bandara, R., Rajapakse, G., et al. (2013) Morphological, antimicrobial, durability, and physical properties of untreated and treated textiles using silver-nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. [Online] 436, 975–989. Available from: doi:10.1016/j.colsurfa.2013.08.038.
- Perry, C., Marshall, R. & Jones, E. (2001) Bacterial contamination of uniforms. *The Journal of Hospital Infection*. [Online] 48 (3), 238–241. Available from: doi:10.1053/jhin.2001.0962.
- Petkova, P., Francesko, A., Perelshtein, I., Gedanken, A., et al. (2016) Simultaneous sonochemical-enzymatic coating of medical textiles with antibacterial ZnO nanoparticles. *Ultrasonics Sonochemistry*. [Online] 29, 244–250. Available from: doi:10.1016/j.ultsonch.2015.09.021.
- Pollini, M., Russo, M., Licciulli, A., Sannino, A., et al. (2009) Characterization of antibacterial silver coated yarns. *Journal of Materials Science. Materials in Medicine*. [Online] 20 (11), 2361–2366. Available from: doi:10.1007/s10856-009-3796-z.
- Rahimi, M.T., Ahmadpour, E., Rahimi Esboei, B., Spotin, A., et al. (2015) Scolicidal activity of biosynthesized silver nanoparticles against *Echinococcus granulosus* protoscolices. *International Journal of Surgery*. [Online] 19, 128–133. Available from: doi:10.1016/j.ijsu.2015.05.043.
- Ramani, M., Ponnusamy, S., Muthamizhchelvan, C., Cullen, J., et al. (2013) Morphology-directed synthesis of ZnO nanostructures and their antibacterial activity. *Colloids and Surfaces. B, Biointerfaces*. [Online] 105, 24–30. Available from: doi:10.1016/j.colsurfb.2012.12.056.
- Ramasamy, M., Lee, J.-H. & Lee, J. (2016) Potent antimicrobial and antibiofilm activities of bacteriogenically synthesized gold-silver nanoparticles against pathogenic bacteria and their physicochemical characterizations. *Journal of Biomaterials Applications*. [Online] 31 (3), 366–378. Available from: doi:10.1177/0885328216646910.
- Reddy, L.S., Nisha, M.M., Joice, M. & Shilpa, P.N. (2014) Antimicrobial activity of zinc oxide (ZnO) nanoparticle against *Klebsiella pneumoniae*. *Pharmaceutical Biology*. [Online] 52 (11), 1388–1397. Available from: doi:10.3109/13880209.2014.893001.
- Saini, P., Saha, S.K., Roy, P., Chowdhury, P., et al. (2016) Evidence of reactive oxygen species (ROS) mediated apoptosis in *Setaria cervi* induced by green silver nanoparticles from *Acacia auriculiformis* at a very low dose. *Experimental Parasitology*. [Online] 160, 39–48. Available from: doi:10.1016/j.exppara.2015.11.004.
- Sarkar, S., Guibal, E., Quignard, F. & SenGupta, A.K. (2012) Polymer-supported metals and metal oxide nanoparticles: synthesis, characterization, and applications. *Journal of Nanoparticle Research*. [Online] 14 (2), 1–24. Available from: doi:10.1007/s11051-011-0715-2.
- Sasahara, T., Hayashi, S., Morisawa, Y., Sakihama, T., et al. (2011) *Bacillus cereus* bacteremia outbreak due to contaminated hospital linens. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases: Official Publication of the European Society of Clinical Microbiology*. [Online] 30 (2), 219–226. Available from: doi:10.1007/s10096-010-1072-2.
- Sattar, S.A., Springthorpe, S., Mani, S., Gallant, M., et al. (2001) Transfer of bacteria from fabrics to hands and other fabrics: development and application of a quantitative method using *Staphylococcus aureus* as a model. *Journal of Applied Microbiology*. 90 (6), 962–970.
- Schweizer, M., Graham, M., Ohl, M., Heilmann, K., et al. (2012) Novel hospital curtains with antimicrobial properties: a randomized, controlled trial. *Infection Control and Hospital Epidemiology*. [Online] 33 (11), 1081–1085. Available from: doi:10.1086/668022.
- Sehulster, L.M., Chinn, R.Y.W., Arduino, M.J., Carpenter, J., et al. (2004) *Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. Recommendations from CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC)*.p.235.
- Sexton, T., Clarke, P., O'Neill, E., Dillane, T., et al. (2006) Environmental reservoirs of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in isolation rooms: correlation with patient isolates and implications for hospital hygiene. *The Journal of Hospital Infection*. [Online] 62 (2), 187–194. Available from: doi:10.1016/j.jhin.2005.07.017.
- Shaheen, T.I., El-Naggar, M.E., Abdelgawad, A.M. & Hebeish, A. (2016) Durable antibacterial and UV

- protections of in situ synthesized zinc oxide nanoparticles onto cotton fabrics. *International Journal of Biological Macromolecules*. [Online] 83 (Supplement C), 426–432. Available from: doi:10.1016/j.ijbiomac.2015.11.003.
- Shahid-ul-Islam, Butola, B.S. & Mohammad, F. (2016) Silver nanomaterials as future colorants and potential antimicrobial agents for natural and synthetic textile materials. *RSC Advances*. [Online] 6 (50), 44232–44247. Available from: doi:10.1039/C6RA05799C.
- Shamaila, S., Zafar, N., Riaz, S., Sharif, R., et al. (2016) Gold Nanoparticles: An Efficient Antimicrobial Agent against Enteric Bacterial Human Pathogen. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*. [Online] 6 (4). Available from: doi:10.3390/nano6040071.
- Sharma, D., Rajput, J., Kaith, B.S., Kaur, M., et al. (2010) Synthesis of ZnO nanoparticles and study of their antibacterial and antifungal properties. *Thin Solid Films*. [Online] 519 (3), 1224–1229. Available from: doi:10.1016/j.tsf.2010.08.073.
- Sreelakshmi, C., Datta, K.K.R., Yadav, J.S. & Reddy, B.V.S. (2011) Honey derivatized Au and Ag nanoparticles and evaluation of its antimicrobial activity. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 11 (8), 6995–7000.
- Thabet, S., Simonet, F., Lemaire, M., Guillard, C., et al. (2014) Impact of photocatalysis on fungal cells: depiction of cellular and molecular effects on *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*. [Online] 80 (24), 7527–7535. Available from: doi:10.1128/AEM.02416-14.
- Tran Thi, V.H. & Lee, B.-K. (2017) Development of multifunctional self-cleaning and UV blocking cotton fabric with modification of photoactive ZnO coating via microwave method. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. [Online] 338 (Supplement C), 13–22. Available from: doi:10.1016/j.jphotochem.2017.01.020.
- Treacle, A.M., Thom, K.A., Furuno, J.P., Strauss, S.M., et al. (2009) Bacterial contamination of health care workers' white coats. *American Journal of Infection Control*. [Online] 37 (2), 101–105. Available from: doi:10.1016/j.ajic.2008.03.009.
- Trillis, F., Eckstein, E.C., Budavich, R., Pultz, M.J., et al. (2008) Contamination of hospital curtains with healthcare-associated pathogens. *Infection Control and Hospital Epidemiology*. [Online] 29 (11), 1074–1076. Available from: doi:10.1086/591863.
- Uğur, S.S., Saruşık, M., Aktaş, A.H., Uçar, M.C., et al. (2010) Modifying of Cotton Fabric Surface with Nano-ZnO Multilayer Films by Layer-by-Layer Deposition Method. *Nanoscale Research Letters*. [Online] 5 (7), 1204–1210. Available from: doi:10.1007/s11671-010-9627-9.
- Valderrama Beltran, S.L., Ariza Ayala, B.E. & Osorio Pinzon, J.V. (2010) Medio ambiente e infección. In: *Infecciones Hospitalarias*. 3rd edition. Bogota, Editorial Medica Internacional. pp. 126–147.
- Vazquez-Muñoz, R., Avalos-Borja, M. & Castro-Longoria, E. (2014) Ultrastructural Analysis of *Candida albicans* When Exposed to Silver Nanoparticles. *PLoS ONE*. [Online] 9 (10). Available from: doi:10.1371/journal.pone.0108876 [Accessed: 2 March 2017].
- Wani, I.A., Ahmad, T. & Manzoor, N. (2013) Size and shape dependant antifungal activity of gold nanoparticles: a case study of *Candida*. *Colloids and Surfaces. B, Biointerfaces*. [Online] 101, 162–170. Available from: doi:10.1016/j.colsurfb.2012.06.005.
- WHO (2011) *Report on the burden of health care-associated infection worldwide*. [Online]. p.40. Available from: http://www.who.int/gpsc/country_work/burden_hcai/en/ [Accessed: 13 January 2016].
- Wiener-Well, Y., Galuty, M., Rudensky, B., Schlesinger, Y., et al. (2011) Nursing and physician attire as possible source of nosocomial infections. *American Journal of Infection Control*. [Online] 39 (7), 555–559. Available from: doi:10.1016/j.ajic.2010.12.016.
- Windler, L., Height, M. & Nowack, B. (2013) Comparative evaluation of antimicrobials for textile applications. *Environment International*. [Online] 53, 62–73. Available from: doi:10.1016/j.envint.2012.12.010.
- Xiang, D., Zheng, Y., Duan, W., Li, X., et al. (2013) Inhibition of A/Human/Hubei/3/2005 (H3N2) influenza virus infection by silver nanoparticles in vitro and in vivo. *International Journal of Nanomedicine*. [Online] 8, 4103–4114. Available from: doi:10.2147/IJN.S53622.
- Xiao, G., Zhang, X., Zhao, Y., Su, H., et al. (2014) The behavior of active bactericidal and antifungal coating under visible light irradiation. *Applied Surface Science*. [Online] 292, 756–763. Available from: doi:10.1016/j.apsusc.2013.12.044.

- Xie, Y., He, Y., Irwin, P.L., Jin, T., et al. (2011) Antibacterial activity and mechanism of action of zinc oxide nanoparticles against *Campylobacter jejuni*. *Applied and Environmental Microbiology*. [Online] 77 (7), 2325–2331. Available from: doi:10.1128/AEM.02149-10.
- Zarrindokht Emami-Karvani, P.C. (2012) Antibacterial activity of ZnO nanoparticle on Gram-positive and Gram-negative bacteria. *African Journal of Microbiology Research*. [Online] 5 (18). Available from: doi:10.5897/AJMR10.159.
- Zhang, L., Ding, Y., Povey, M. & York, D. (2008) ZnO nano-fluids – A potential antibacterial agent. *Progress in Natural Science*. [Online] 18 (8), 939–944. Available from: doi:10.1016/j.pnsc.2008.01.026.
- Zhang, Y., Shareena Dasari, T.P., Deng, H. & Yu, H. (2015) Antimicrobial Activity of Gold Nanoparticles and Ionic Gold. *Journal of Environmental Science and Health. Part C, Environmental Carcinogenesis & Ecotoxicology Reviews*. [Online] 33 (3), 286–327. Available from: doi:10.1080/10590501.2015.1055161.

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /
PARA CITAR ESTE ARTIGO /**

Zapata-Giraldo, J.; Botero, L.E.; Mejía, M.L.; Escobar-Mora, N.; Ortiz-Trujillo, I.; Galeano U., B.J.; Hoyos, L.M.; Cuesta, D. (2018). Textiles funcionales como barrera de protección ante infecciones asociadas a la atención en salud. *Revista EIA*, 15(29), enero-junio, pp. 13-29. [Online]. Disponible en: <https://doi.org/10.24050/reia.v15i29.1166>