

# **NANOTECNOLOGÍA COMO ESCUDO ANTIBACTERIAL**

**KARINA LISSET SAMBRANO SANDOVAL, N. M. MAKAROV,  
G. F. PÉREZ SÁNCHEZ**

# NANOTECNOLOGÍA COMO ESCUDO ANTIBACTERIAL

En las últimas décadas, el uso intensivo e indiscriminado de antibióticos ha provocado la resistencia bacteriana, generando un serio problema de salud pública a nivel mundial [1]. Esta situación ha impulsado la búsqueda de nuevas estrategias antimicrobianas, entre las cuales los nanomateriales destacan como una opción prometedora por sus propiedades únicas a escala nanométrica (1-100 nm) [2].

Los nanomateriales son estructuras cuyas dimensiones otorgan características elevadas en la relación superficie-volumen, por ejemplo, la presencia de efectos cuánticos o la capacidad de generar especies reactivas de oxígeno (ROS) y su interacción específica con moléculas que producen reacciones que son [3] han sido aprovechadas en diversos campos, incluyendo la medicina, donde su aplicación como agentes antibacteriales está cobrando relevancia.

En particular, los óxidos metálicos nanoestructurados, como los de zinc (ZnO), cobre (CuO), titanio (TiO<sub>2</sub>) y tungsteno (WO<sub>3</sub>), han mostrado una alta eficacia para inhibir el crecimiento bacteriano [4]. A diferencia de los antibióticos tradicionales, que suelen atacar objetivos moleculares específicos y, por ende, favorecen la aparición de cepas resistentes, estos nanomateriales actúan mediante múltiples mecanismos: liberación de iones metálicos, producción de ROS y daño físico a las membranas bacterianas [5].

En materia el óxido de tungsteno (WO<sub>3</sub>) ha comenzado a destacar por su estabilidad química, actividad fotocatalítica bajo luz visible y capacidad para inducir estrés oxidativo en bacterias [6]. Los reportes muestran avances importantes en la síntesis de WO<sub>3</sub> en diferentes morfologías (nanopartículas, nanohilos, nanoplacas) y en su funcionalización

mediante dopaje con otros elementos para mejorar su actividad antibacterial [7].

Un aspecto clave para obtener nanomateriales funcionales de alta calidad es la técnica de síntesis. En este sentido, el depósito químico en fase vapor asistido por filamento caliente (HFCVD) ofrece ventajas significativas frente a métodos convencionales, la técnica HFCVD permite una deposición directa, controlada y limpia del material sobre sustratos como textiles, sin necesidad de temperaturas excesivamente altas ni procesos de lavado posteriores [8]. Esto lo convierte en una alternativa más reproducible, escalable, ecológica y compatible con sustratos sensibles al calor, como el poliéster o el algodón.

El propósito del trabajo del laboratorio es hacer uso de recubrimientos de óxido de tungsteno (WO<sub>3</sub>) nanoestructurado aplicados a textiles de algodón y poliéster, sintetizados mediante la técnica HFCVD, como agentes antibacteriales comparables a antibióticos convencionales y mantener a la vanguardia la ciencia y tecnología de la Universidad (BUAP).

Logramos obtener textiles de algodón y poliéster como sustratos para evaluar el potencial del WO<sub>3</sub> como agente antibacterial, los cuales fueron recubiertos con el material de interés empleando el sistema HFCVD (figura1). En el proceso de síntesis se establecen parámetros de síntesis como: la temperatura del filamento (1200 °C), la presión del reactor de HFCVD por debajo de la presión atmosférica (150 mTorr) y tiempo de depósito (10 min). Previamente al proceso de síntesis, los sustratos textiles fueron sometidos a una limpieza mecánica y a base de detergentes no iónicos para garantizar la adherencia del recubrimiento sobre las fibras textiles. El mecanismo de crecimiento del recubrimiento na-

noestructurado de  $WO_x$  sobre las fibras textiles consiste en que al reaccionar el filamento de tungsteno caliente con el oxígeno residual dentro del reactor se forman especies volátiles de óxido de tungsteno que viajan hasta el sustrato textil a menor temperatura, en donde se depositan formando una capa nanoestructurada.

## Sistema HFCVD

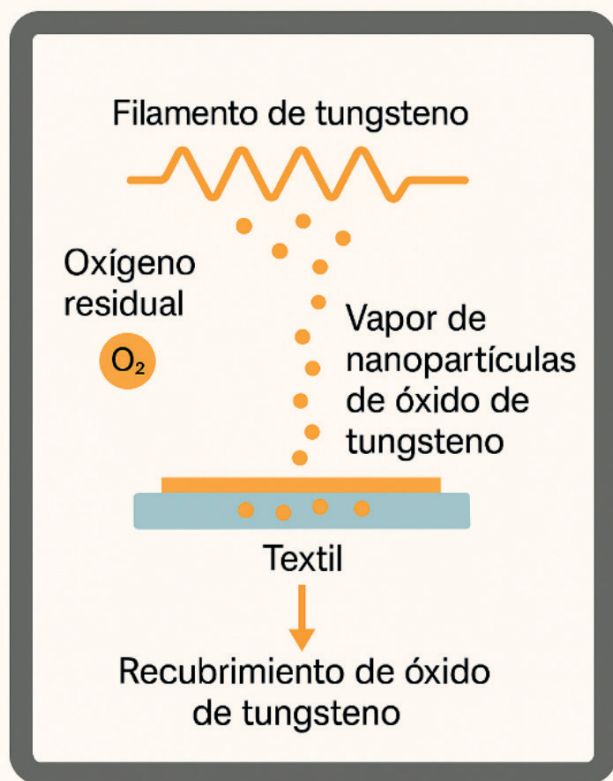


Figura 1. Esquema simplificado del sistema HFCVD.

Se caracterizó morfológicamente mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía electrónica por transmisión en alta resolución (HR-TEM). En la figura 2, se muestra una micrografía de la trama del textil con el recubrimiento de  $WO_x$  mostrando las fibras que no experimentan ninguna

modificación superficial después del proceso de depósito de la capa nanoestructurada. La micrografía a mayor resolución muestra que el recubrimiento es “conformal” y uniforme sobre la superficie de la fibra con aglomerados de 600 nm (grosor de un cabello). La micrografía obtenida por HR-TEM muestra que los aglomerados consisten en nanopartículas de  $WO_x$  con tamaños del orden de  $\sim 5$  nm, los cuales, a su vez, están embebidos dentro de una matriz amorfa con dominios nanocrystalinos correspondían al  $WO_3$ .

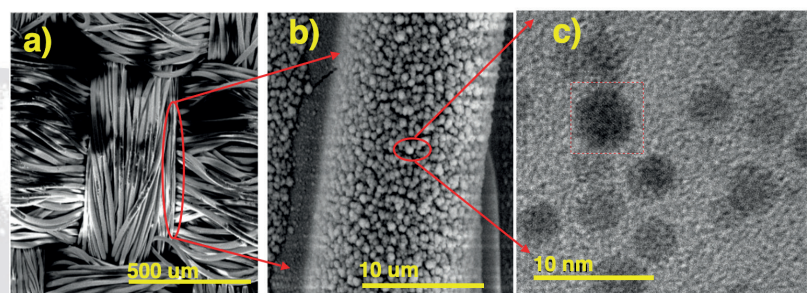


Figura 2. Recubrimiento de  $WO_x$  sobre el textil: a) Micrografía de SEM a baja resolución en la trama del textil, b) Micrografía de SEM a mayor resolución del recubrimiento de  $WO_x$  en la superficie de la fibra textil y c) Micrografía de HR-TEM de las nanopartículas de  $WO_x$ .

Al realizar las pruebas antibacteriales del material con textiles de algodón y poliéster conteniendo nuestro material, colocando en placas de agar inoculadas con bacterias se observaron la aparición de halos de inhibición del crecimiento bacteriano. En la figura 3, se presentan las pruebas de difusión para la cepa *E. coli*, en donde se comparó la actividad antibacterial de distintos sensibilizadores con antibióticos comerciales frente a nuestros textiles funcionalizados con  $WO_x$ .

En las pruebas se observó que el poliéster recubierto con el material antibacterial ( $WO_x$ ) logró frenar de

manera creciente el desarrollo de *E. coli* y *P. aeruginosa* con el paso del tiempo, especialmente entre las 24 y 72 horas. Cabe mencionar que, el algodón funcionalizado con WO<sub>3</sub> nanoestructurado fue más efectivo contra *P. aeruginosa* que contra *E. coli*. En suma, los textiles recubiertos con WO<sub>3</sub> formaron zonas de inhibición bien definidas, similares a las que producen antibióticos como la Gentamicina o el Trimetoprim/Sulfametoxazol, lo que destaca su potencial como material antibacteriano.

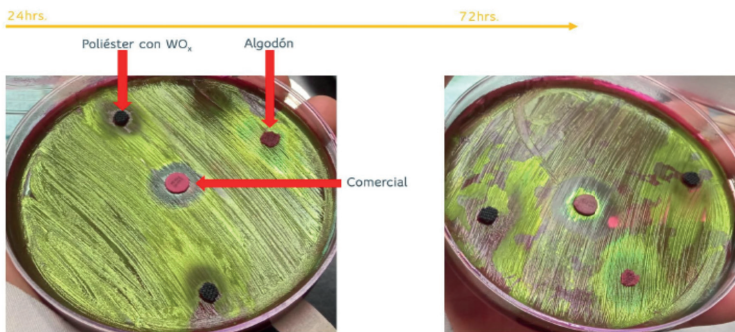


Figura 3. Pruebas de difusión en agar empleando recubrimientos de WO<sub>x</sub> sobre poliéster y algodón con diferentes tiempos de incubación.

¿Cómo actúa el óxido de tungsteno contra las bacterias?

Este comportamiento se atribuye a la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) por parte del WO<sub>3</sub> en presencia de luz, que causan daño a las membranas y estructuras internas de las bacterias. El tamaño nanométrico del material permite una mayor superficie de contacto, lo que potencia su acción. Además, al actuar por múltiples mecanismos, se dificulta la aparición de resistencia bacteriana.

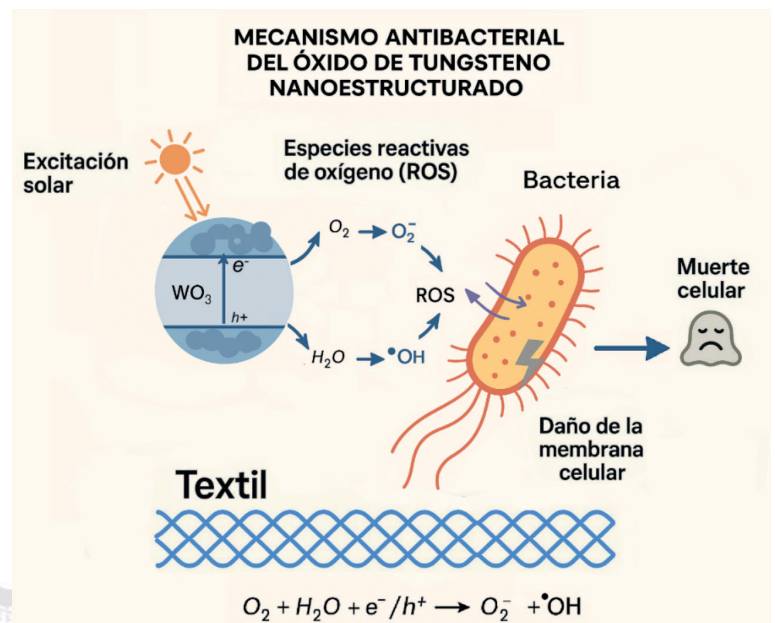


Figura 4. Mecanismo antibacterial del recubrimiento de WO<sub>x</sub> nanoestructurado en textil.

## Referencias

1. Ventola CL. The antibiotic resistance crisis: part 1: causes and threats. *Pharmacy and Therapeutics*. 2015;40(4):277–283.
2. Roco MC. The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years. *J Nanopart Res*. 2011;13:427–445.
3. Rai M, Yadav A, Gade A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnol Adv*. 2009;27(1):76–83.
4. Zhang L, Pornpattananangkul D, Hu CMJ, Huang CM. Development of nanoparticles for antimicrobial drug delivery. *Curr Med Chem*. 2010;17(6):585–594.
5. Dakal TC, Kumar A, Majumdar RS, Yadav V. Mechanistic basis of antimicrobial actions of silver nanoparticles. *Front Microbiol*. 2016;7:1831.
6. Liu Y, He L, Mustapha A, Li H, Hu ZQ, Lin M. Antibacterial activities of zinc oxide nanoparticles against *Escherichia coli* O157:H7. *J Appl Microbiol*. 2009;107(4):1193–1201.
7. Jalal M, Ansari MA, Alzohairy MA, Ali SG, Khan HM. Green synthesis and characterization of WO<sub>3</sub> nanoparticles and their antimicrobial activity against pathogenic microorganisms. *Mat Sci Eng C*. 2016;62:32–39.
8. Ghosh S, Ahmad R, Barui A, et al. Tungsten oxide nanostructures: recent advances in synthesis, properties and applications in catalysis, sensing, and energy devices. *J Mater Chem A*. 2021;9(16):9744–9770.