

# El futuro de la salud: nanofibras que transforman el tratamiento de enfermedades

Josselyne Guadalupe Transito Medina, Alvaro Torres Islas y Edna Vázquez Vélaz

La Ing. Transito Medina es Ingeniera en Nanotecnología por la Universidad Tecnológica Emiliano Zapata. Actualmente es estudiante de la Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables de la Universidad Autónoma de Morelos, donde desarrolla proyectos relacionados a fibras poliméricas en aplicaciones biomédicas. El Dr. Torres Islas es egresado en Ingeniería Mecánica por la UAEM, con maestría y doctorado en Ingeniería por la UNAM. Actualmente es Profesor Investigador de tiempo completo en la UAEM, especializado en corrosión, materiales e ingeniería mecánica. Es integrante de la Academia de Ciencias de Morelos y miembro del SNII Nivel I. La Dra. Vázquez Vélaz es Doctora en Ciencias Químicas con especialidad en síntesis orgánica. Actualmente labora en el Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM, desarrollando nanoestructuras poliméricas para la liberación de fármacos. Es miembro del SNII Nivel 1.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Imagina un mundo donde los tratamientos médicos sean tan precisos que puedan actuar directamente sobre una célula enferma sin afectar el resto del cuerpo. Donde materiales diminutos sean la clave para curar enfermedades, y desarrollar la medicina. Esa es la realidad que múltiples científicos perfeccionan y tratan de llevar hasta nosotros a partir de la nanotecnología, un área de aplicación que se convierte en herramienta esencial para nuestra vida empleando las nanofibras.

Hoy en día, gracias a estas estructuras, tenemos vendajes inteligentes que aceleran la cicatrización, sistemas de liberación de fármacos y hasta filtros de purificación que eliminan virus y bacterias! Y eso es sólo el principio, para los investigadores del área sigue siendo una prioridad en los laboratorios, donde se busca mejorar su eficacia y reducir efectos adversos en los tratamientos de cada huésped.

Este artículo explora los avances en aplicación actual y desarrollo en la investigación de las nanofibras, que podrían transformar el futuro de la medicina, desde andamios para la regeneración de tejidos específicos hasta innovadores tratamientos para enferme-

dades crónicas.

## Nanotecnología y Biomedicina: Un Vínculo para el Futuro de la Salud

Antes de explorar la relación entre nanotecnología y biomedicina, es importante comprender la dirección de cada una de ellas. La nanotecnología es un área de aplicación de materiales, dispositivos y productos -fruto de la investigación interdisciplinaria de físicos, químicos, médicos y biólogos- que estudia cómo cambian las propiedades de los materiales cuando se manipulan a escalas diminutas, del tamaño de nanómetros. Para ponerlo en perspectiva, un nanómetro (nm) es una milmillonésima parte de un metro; el grosor de un cabello humano equivale a unos 60,000 nanómetros (Figura 1), una bacteria puede llegar a medir desde 10,000 nm, mientras que una molécula de antibiótico puede alcanzar los 3 nm [1]. A esta escala, los materiales presentan características únicas, lo que abre nuevas posibilidades en la investigación y en aplicaciones prácticas.

Por otro lado, la biomedicina es una disciplina que utiliza principios de biología y medicina para entender, prevenir, diagnosticar y tratar enfermedades. Este campo combina conocimientos de varias disciplinas científicas para tratar de comprender mejor las causas de las enfermedades y desarrollar nuevas terapias, tecnologías y estrategias que mejoren la salud.

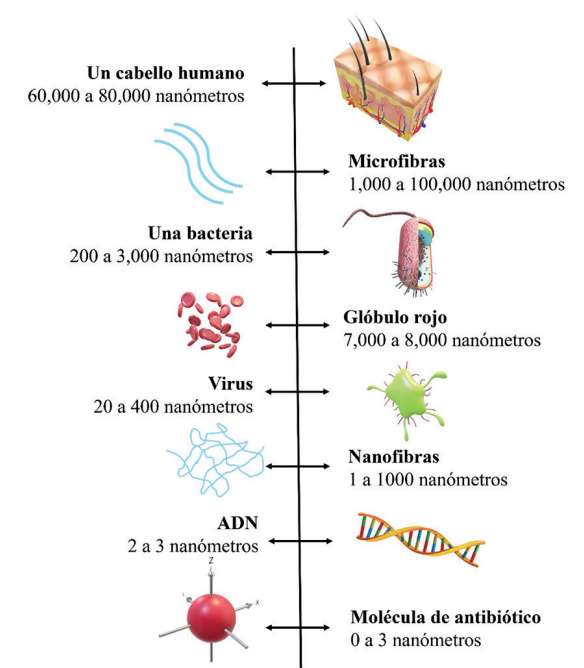


FIGURA 1. PERSPECTIVA de la escala nanométrica en el área biomédica.

La unión entre la nanotecnología y la biomedicina ha permitido crear nanobiomateriales, diseñados específicamente para abordar problemas de salud. Gracias a ellos, se desarrollan soluciones más eficaces para tratar enfermedades crónicas, avanzar en la ingeniería de tejidos y mejorar la administración de medicamentos. En términos prácticos, la nanotecnología hace posible fabricar materiales con propiedades específicas para mejorar la efectividad de los tratamientos médicos, ofreciendo alternativas que logran adaptarse a las necesidades de cada paciente [2].

## ¿Qué son las Nanofibras y por qué son importantes en Medicina?

En el campo médico, uno de los nanomateriales más prometedores son los sistemas hilados, mejor conocidos como nanofibras. Estas estructuras de tamaño nanométrico poseen propiedades especiales, como lo es su alta relación entre superficie y volumen que facilita la interacción con células, algo fundamental

para la medicina regenerativa.

A pesar de su pequeño tamaño, las nanofibras son flexibles y muy resistentes, lo que permite crear estructuras que imitan la matriz extracelular del cuerpo, promoviendo la regeneración de tejidos. Además, pueden incorporar biomoléculas específicas (como antibióticos y analgésicos), lo que las convierte en herramientas versátiles para tratamientos personalizados, adaptándose a las necesidades de cada terapia y paciente.

## ¿Cómo se fabrican las Nanofibras?

Imagina que el proceso de fabricar nanofibras es un poco como tejer una tela, solo que el hilo que usamos es miles de veces más delgado que el cabello humano. Para crear estos hilos nanoscópicos, se utiliza una técnica especial llamada electrohilado. La historia del electrohilado comienza en 1902, cuando John Francis Cooley inventó un dispositivo que empleaba electricidad para manipular y dispersar líquidos, lo que sentó las bases de este método. Décadas después, en 1934, surgió una patente del electrohilado por Anton Formhals, que detallaba un método de tratamiento de líquidos con un campo eléctrico de alto voltaje, esto debido a la necesidad de crear fibras de diámetros a escalas menores, con la capacidad de controlar las soluciones utilizadas, la morfología y el diámetro de éstas [3]. Sin embargo, fue hasta finales de los años 90, con el avance e implementación de la nanotecnología, cuando esta técnica se volvió realmente popular. El proceso de electrohilado se divide en tres fases fundamentales (Figura 2): primero, se mezcla un polímero (material que puede ser natural o sintético) con un solvente como agua, creando una solución viscosa. Luego, esta solución se coloca en una jeringa especial conectada a una bomba de inyección. Al pasar por la boquilla de la jeringa, se aplica un voltaje elevado (entre 10-30 kV) entre la boquilla y un colector. Finalmente, cuando la fuerza eléctrica supera la tensión superficial del líquido (cono de Taylor), se genera un hilo delgado que se deposita en el colector mientras el solvente se evapora, dejando fibras sólidas entrelazadas que forman una malla.

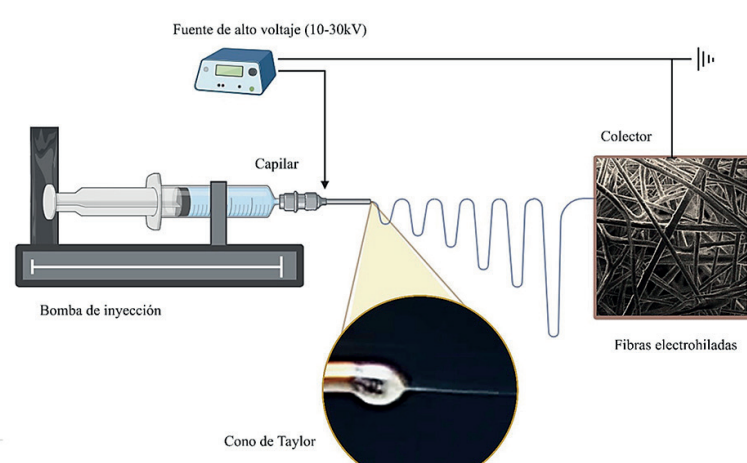


FIGURA 2. PROCESO de electrohilado uniaxial para la obtención de fibras poliméricas. Imagen de elaboración propia: Cono de Taylor obtenido del proceso de electrohilado con cámara acoplada de lente varifocal apertura variable de 5-500mm. Micrografía de fibras electrohiladas obtenidas de PHB-PEG [4].

El tamaño final del hilo de la nano o microfibras depende de distintos

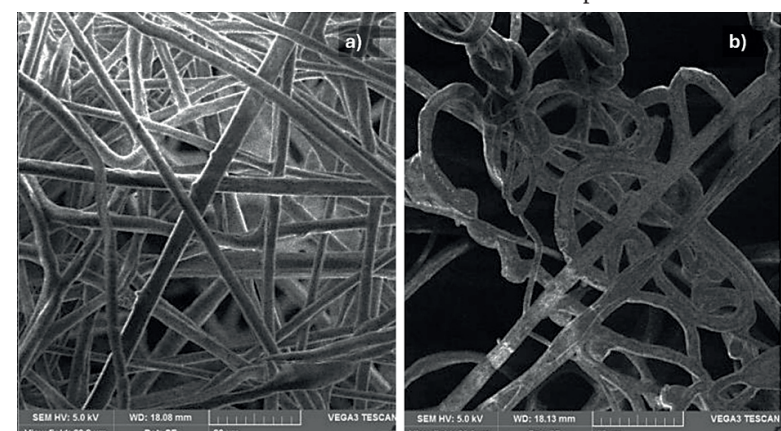


FIGURA 3. MICROGRAFÍAS SEM de fibras poliméricas a) bajo condiciones óptimas de electrohilado y b) bajo condiciones no óptimas de electrohilado [4].

## REFERENCIAS Y LECTURAS RECOMENDADAS

- Alves, J. V., y Lima, M. C. A. (2021). Una aproximación a la nanociencia y la nanotecnología en la educación básica. Docencia y multidisciplinariedad, 4 (2), 33-52. <https://periodicos.eletronicos.ufma.br/index.php/ens-multidisciplinaridade/article/view/16033>
- Edna Vázquez Vélaz, Arturo Galván Hernández, Horacio Martínez Valencia (2022). Las nanopartículas y las vacunas contra el COVID 19, verdades y mitos en Academia de Ciencias de Morelos. <https://acmor.org/publicaciones/las-nanopart-culas-y-las-vacunas-contra-el-covid-19-verdades-y-mitos>

factores, como el tipo de polímero utilizado en solución, la viscosidad, el voltaje aplicado, la distancia entre la boquilla y el colector, la temperatura y la humedad del ambiente, que influyen en diferencias morfológicas como se muestra en la Figura 3. Al ajustar estas condiciones, se pueden obtener fibras con un grosor del hilo diminuto y un entrecruzamiento de fibras homogéneo, para el uso efectivo en distintos tratamientos.

## ¿De qué materiales están hechas las Nanofibras?

Para que las fibras sean útiles en la biomedicina, necesitan cumplir con propiedades de porosidad y biocompatibilidad (capacidad de un material para funcionar con una respuesta apropiada en interacción con los organismos vivos), es decir, que permitan el crecimiento celular y la regeneración de tejidos sin ser rechazadas por el huésped. Esto se logra al usar polímeros biocompatibles, que son materiales que al entrar en contacto con el cuerpo no causan reacciones negativas, a diferencia de los no compatibles, los cuales generan consecuencias asociadas a inflamación del tejido, infecciones en la zona, trombosis y hemorragia después de la inserción de un cuerpo extraño en el organismo [4].

Existen dos tipos de polímeros biocompatibles: los naturales y los sintéticos. Los naturales provienen de procesos biológicos en seres vivos y tienen una gran capacidad para facilitar el crecimiento y la adhesión de células. Algunos de los más comunes son el colágeno, la gelatina, el quitosano, la seda y el ácido hialurónico. Sin embargo, estos polímeros pueden degradarse rápidamente y no siempre son lo suficientemente resistentes para algunas aplicaciones.

Para mejorar estas limitaciones, se mezclan polímeros naturales con polímeros sintéticos, que son materiales fabricados en laboratorio. Algunos polímeros sintéticos comunes son el poliácido láctico-co-glicólico (PLGA), ácido poliácético (PLA), polietilenglicol (PEG) y policaprolactona (PCL), los cuales ofrecen mayor resistencia mecánica, biodegradabilidad por microorganismos del ambiente y bioabsorción por parte del tejido expuesto. Sin embargo, pueden ser menos efectivos para la adhesión celular debido a que repelen el agua (son hidrofóbicos), así que combinarlos con polímeros naturales permite crear nanofibras óptimas para distintos usos médicos [5].

Con esta combinación de materia-

les, preparada desde la incorporación de las soluciones poliméricas previo al electrohilado, las nanofibras tienen propiedades ideales para su uso en biomedicina, ya que permiten trabajar distintos polímeros de acuerdo con diferentes necesidades, como la incorporación de un activo antimicrobiano, un analgésico o uno que permita la regeneración celular. Esto da una gran versatilidad para su optimización en aplicaciones futuras en la medicina.

## La revolución de las nanofibras en medicina regenerativa

El cuerpo humano tiene una capacidad increíble para repararse: tus tejidos comienzan a regenerarse gracias a nuevas células. Este proceso tiene un aliado clave: la matriz extracelular (MEC). Imagina la MEC como un andamio natural formado por proteínas que no solo sostiene las células, sino que también las guía para reparar el tejido dañado.

Los avances en la medicina regenerativa han permitido crear materiales que imitan la MEC, como las nanofibras. Estas pequeñas estructuras, por su forma y porosidad, no solo dejan pasar nutrientes y oxígeno, sino que también ayudan a eliminar desechos. Además, facilitan que las células se adhieran y crezcan, creando un ambiente ideal para la regeneración de tejidos (Figura 4).

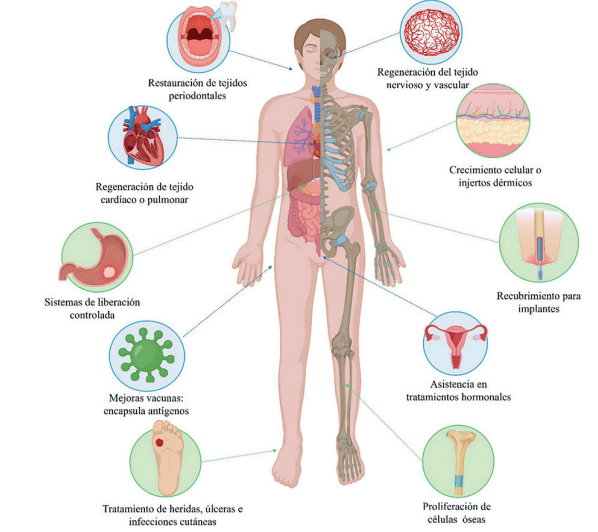


FIGURA 4. APLICACIONES biomédicas de las nanofibras poliméricas electrohiladas en el cuerpo humano. Aquellas que se encuentran en investigación científica actualmente (azul) y aplicaciones que son una realidad a nivel comercial (verde).

## Piel: posterior a graves heridas

En lesiones serias de la piel el riesgo de infección es alto. Las nanofibras no sólo imitan la matriz extracelular (que actúa como un soporte natural), ofreciendo más áreas para que las células se adhieran y crezcan, sino que también pueden liberar medicamentos para prevenir infecciones bacterianas. Estos apósitos ya son una realidad que funcionan como antimicrobianos, promoviendo una cicatrización más segura y efectiva de las heridas en la piel.

## Vasos sanguíneos: construyendo caminos seguros

Como proyectos en desarrollo, se investiga la aplicación de las nanofibras para producir injertos vasculares. Debido a su alta resistencia mecánica, las nanofibras son ideales para injertos vasculares, que deben ser resistentes para soportar la presión arterial y gracias a su permeabilidad garantizan el intercambio de nutrientes y desechos. Las nanofibras son excelentes para este propósito, ya que facilitan que nuevos vasos se integren rápidamente con los del cuerpo, al ajustar un flujo adecuado después de ser implantados.

## Tejido nervioso: conexiones delicadas

Las nanofibras han mostrado resultados prometedores en la reparación de nervios dañados. Su diseño busca acoplarse en forma y tamaño a este tejido a fin de promover el crecimiento de nuevas células nerviosas. También tienen el beneficio de reducir reacciones inmunológicas adversas. Por ejemplo, los científicos han creado andamios hechos de quitosano e hidrogel que han mostrado resultados prometedores en la reparación de nervios, como el nervio ciático. Esta idea está a la espera de perfeccionarla para su aplicación.

## Tejido óseo: Huesos más fuertes y saludables

Por impresionante que parezca, los andamios para la ingeniería de tejidos óseos, recubrimientos de implantes y liberación controlada de biomoléculas a partir de nanofibras ya son comercializados. En el tejido óseo, las nanofibras imitan la estructura natural del hueso, ayudan a las células óseas (osteoblastos) a adherirse y desarrollarse. Estas fibras tienen la fuerza y biocompatibilidad necesarias para convertirse en andamios ideales para la regeneración ósea, debido a su naturaleza biomimética de la MEC ósea. Esto hace factores cruciales para el diseño de andamios para este fin. Además, los estudios han demostrado que las nanofibras con características estructurales y topológicas a nanoescala imitan mejor las características fisiológicas del tejido óseo natural [6].

## Pie diabético: un tratamiento avanzado

Dentro de los avances biomédicos de las nanofibras que podemos encontrar en el mercado, se concentran los de regeneración de heridas crónicas y prevención de infecciones, que principalmente se presentan en pacientes diabéticos. El pie diabético es una de las complicaciones más graves, con un riesgo elevado de amputación debido a infecciones y heridas que no sanan. Asimismo, las úlceras que tardan en cicatrizar presentan una notable resistencia al proceso de curación lo que puede incrementar la mortalidad de los pacientes afectados. Las nanofibras poliméricas se involucran en ambas etapas del tratamiento de úlceras o heridas diabéticas: fase inflamatoria y fase proliferativa de remodelación. Estas estructuras fabricadas con polímeros biocompatibles pueden imitar la matriz extracelular de la piel, proporcionando un entorno favorable para la regeneración celular y el crecimiento de tejido nuevo. Además, tienen la capacidad de liberar fármacos directamente en las heridas o zonas afectadas, acelerando la recuperación y el tratamiento a pacientes con estas complicaciones [7].

## Biosensores para un diagnóstico más preciso

Detectar enfermedades a tiempo puede marcar la diferencia entre una recuperación rápida o un tratamiento complejo. Dentro de la investigación y el desarrollo actual, estas estructuras nanoscópicas funcionan como biomarcadores, que emiten señales químicas asociadas con enfermedades, como ciertas proteínas, ácidos nucleicos o enzimas. Al ser biocompatibles y adaptables, las nanofibras se integran fácilmente en dispositivos de monitoreo médico, ofreciendo diagnósticos más precisos y permiten el seguimiento en tiempo real de las condiciones de salud de los pacientes [8].

## Un enfoque inteligente para combatir el cáncer

Los tratamientos tradicionales contra el cáncer, como la quimioterapia, pueden causar efectos secundarios significativos, como daño a tejidos sanos y toxicidad en el cuerpo. Además, la resistencia a múltiples fármacos en algunos pacientes puede complicar aún más el proceso.

Aquí es donde las nanofibras inteligentes presentan una solución innovadora. Los avances significativos en la investigación demuestran que estas fibras son capaces de liberar medicamentos en respuesta a estímulos específicos, como cambios en el pH, la temperatura, o incluso la exposición a luz o campos magnéticos. Este enfoque no solo concentraría los tratamientos en las áreas afectadas, sino que también reduciría los efectos secundarios, haciendo que los tratamientos contra el cáncer sean más efectivos y llevaderos para los pacientes.

## Un futuro prometedor

Con estas tecnologías avanzadas, los diagnósticos tempranos y los tratamientos personalizados ya no son un sueño lejano. Los avances en la producción de nanofibras, mediante la técnica de electrohilado, han permitido el desarrollo continuo de nuevos proyectos científicos respecto a sistemas de administración de fármacos de manera controlada, bajo las condiciones del cuerpo humano y reduciendo efectos secundarios. Hoy en día, ya tenemos al alcance apósitos avanzados de nanofibras que aceleran la cicatrización de heridas crónicas y quemaduras, membranas para ingeniería de tejidos utilizadas en regeneración ósea y dispositivos médicos con recubrimientos antibacterianos que previenen infecciones.

Gracias a estos avances, la regeneración de tejidos y la administración de fármacos experimentan una transformación sin precedentes. Mientras los científicos continúan explorando nuevas aplicaciones y perfeccionan estas tecnologías en el laboratorio para mejorar su eficacia, los productos disponibles en el mercado ya mejoran la calidad de vida de las personas en los hospitales. Por lo tanto, la integración de las nanofibras en aplicaciones biomédicas marca un punto de inflexión en la medicina moderna. Los desarrollos científicos en curso abren posibilidades para tratamientos cada vez más enfocados en las necesidades del huésped, mientras que los productos comercializados consolidan el impacto real de esta tecnología en la atención médica actual. Con el tiempo, esta sinergia entre la investigación y la industria seguirá redefiniendo el futuro de la salud global.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos.



ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org](http://www.acmor.org)  
**¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos?**  
**CONTACTANOS:** [coord.comite.editorial.acmor@gmail.com](mailto:coord.comite.editorial.acmor@gmail.com)

- Keirouz, A., Wang, Z., Reddy, V. S., Nagy, Z. K., Vass, P., Buzgo, M., Ramakrishna, S., & Radacs, N. (2023). The History of Electrospinning: Past, Present, and Future Developments. *Advanced Materials Technologies*, 8 (11). <https://doi.org/10.1002/admt.202201723>
- Podgórski, R., Wojsiński, M., & Ciach, T. (2022). Nanofibrous materials affect the reaction of cytotoxicity assays. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13002-w>
- Juan Sebastián Guerra Villalca, Seqat Rachid, Christian Patricio Narváez Muñoz y Marbel Torres Arias (2021). Biopolímeros: Aplicaciones de andamios en medicina regenerativa, *Anatomía digital* 4, 3, 6-33. <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/AnatomiaDigital/article/view/1754/4361>
- Tomás Álvaro Naranjo, Rosa Noguera-Salvá, Fernando Fariñas Guerrero (2009). La matriz extracelular: morfología, función y biotensegridad (parte I), *Revista Española de Patología*, 42, 4, 249-261. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1699885509701928>
- Transito-Medina, Josselyne, Edna Vázquez-Vélaz, Marilú Chávez Castillo, Horacio Martínez, and Bernardo Campillo (2023). Gentamicin Release Study in Uniaxial and Coaxial Polyhydroxybutyrate-Polyethylene Glycol-Gentamicin Microfibers Treated with Atmospheric Plasma, *Polymers* 15, 19, 3889. <https://doi.org/10.3390/polym15193889>
- Salud digital (2017). Nuevo parche hipoalérgico y transpirable que monitoriza la salud a largo plazo. [https://www.consalud.es/saludigital/tecnologia-sanitaria/nuevo-parche-hipoalergenico-y-transpirable-que-monitoriza-la-salud-a-largo-plazo\\_41648\\_102.html](https://www.consalud.es/saludigital/tecnologia-sanitaria/nuevo-parche-hipoalergenico-y-transpirable-que-monitoriza-la-salud-a-largo-plazo_41648_102.html)