

Nanofibras contra una herida que no sana: nuevas alternativas para las complicaciones de la diabetes

Una herida puede parecer un problema sencillo: un corte, una quemadura o una lesión que eventualmente debería de sanar fácilmente. Sin embargo, para una persona que padece de diabetes, una herida puede convertirse en un problema mucho más complejo.

Lo que comienza como una lesión aparentemente pequeña puede permanecer abierta durante semanas o incluso meses, favorecer infecciones y, en casos graves, comprometer la integridad de una extremidad.

El pie diabético es uno de los ejemplos más representativos de esta problemática y evidencia una de las grandes dificultades de la medicina actual: ¿cómo reparar un tejido cuando el propio organismo ha perdido parte de su capacidad para hacerlo?

La cicatrización es un proceso biológico en el que intervienen diferentes tipos de células, proteínas, vasos sanguíneos y moléculas de señalización. Para que una herida pueda cerrarse correctamente, el organismo debe coordinar diferentes etapas que incluyen inflamación, proliferación celular, formación de nuevos vasos sanguíneos y remodelación del tejido.

En las personas con diabetes, las cuales según la Federación Internacional de Diabetes (IDF, por sus siglas en inglés, International Diabetes Federation) son cerca de 589 millones de adultos en el mundo con este padecimiento (Yuqing Dong, et al., 2026), este proceso puede verse alterado por factores como la hiperglucemia, la disminución de la vascularización, el estrés oxidativo, la neuropatía y una respuesta inflamatoria prolongada. Como consecuencia, una lesión que normalmente podría resolverse en poco tiempo puede convertirse en una herida crónica.

El problema no termina en la dificultad para cerrar la herida. Una lesión abierta constituye también una puerta de entrada para microorganismos, lo que incrementa el riesgo de infección.

En el caso del pie diabético, esta situación puede agravarse por la pérdida de sensibilidad causada por la neuropatía, pues una persona puede no percibir adecuadamente una lesión y continuar ejerciendo presión sobre ella. Según Maldonado-Valer et al. (2023) “uno de cada seis pacientes con diabetes mellitus (DM) desarrollará una úlcera en la extremidad inferior en algún momento de su vida.

Asimismo, el 85 % de los pacientes con amputación de extremidad inferior presentaron una úlcera que podría haberse prevenido”. De esta manera, la diabetes transforma la cicatrización en un desafío que requiere algo más que cubrir una herida: es necesario crear condiciones que permitan al tejido recuperar progresivamente su estructura y función.

Es precisamente en este punto donde la nanotecnología comienza a adquirir relevancia.

Del laboratorio a la herida: ¿qué son las nanofibras?

Una de las tecnologías que ha despertado interés en la ingeniería de tejidos es la técnica de electrospinning o electrohilado. Mediante esta técnica es posible fabricar fibras extremadamente delgadas, con diámetros que pueden encontrarse en la escala nanométrica, generalmente de 1.0 a 100 nm.

El proceso utiliza un campo eléctrico para inyectar una solución polimérica desde una aguja hacia un colector, formando fibras continuas que posteriormente pueden organizarse en una estructura semejante a una malla.

A primera vista, podría parecer que producir fibras tan pequeñas tiene poca relación con una herida. Sin embargo, precisamente debido a su tamaño y organización constituyen una de sus principales ventajas.

El cuerpo humano no repara los tejidos sobre una superficie completamente plana. Las células interactúan constantemente con una estructura tridimensional conocida como matriz extracelular, una red formada por proteínas y otras moléculas que proporciona soporte físico y, al mismo tiempo, participa en la comunicación entre las células. Componentes como el colágeno forman estructuras fibrilares a escalas micro y nanométricas. Por ello, las matrices fabricadas mediante el electrospinning pueden reproducir algunas características de esta arquitectura natural.

Las nanofibras no son una copia exacta de la matriz extracelular, pero pueden imitar algunas de sus características físicas y morfológicas: una red de fibras interconectadas, de elevada área superficial y de una porosidad que permite la interacción entre las células y el material. Esta semejanza ha convertido a las nanofibras en una herramienta de interés para la ingeniería de tejidos y la regeneración de la piel (dos Santos et al., 2020).

En otras palabras, la idea no consiste únicamente en colocar un material sobre una herida. Se busca construir un microambiente que interactúe con las células y que proporcione condiciones más favorables para que estas puedan adherirse, migrar y proliferar.

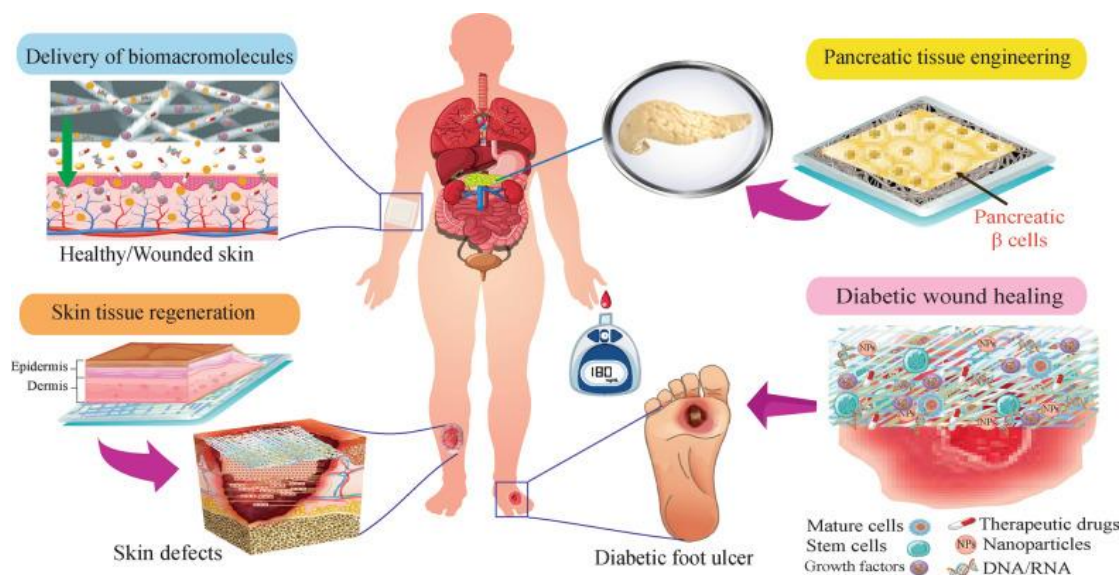


Figura 1. Aplicaciones biomédicas de las nanofibras.

Nota. Tomada del resumen gráfico de *Nanofiber-based systems intended for diabetes*. H. Maleki et al., (2021), *Journal of Nanobiotechnology*, 19:317.

Una segunda función: transportar medicamentos

La arquitectura de las nanofibras ofrece otra posibilidad particularmente interesante: utilizar estas estructuras como vehículos para administrar sustancias terapéuticas directamente en la zona de la lesión.

Una herida diabética puede presentar simultáneamente diferentes problemáticas. Puede existir infección, inflamación prolongada, estrés oxidativo y una disminución en la formación de nuevos vasos sanguíneos. Pretender solucionar todos estos problemas mediante un único tratamiento resulta complicado. Las nanofibras, en cambio, pueden diseñarse para incorporar diferentes compuestos dentro de su estructura y liberarlos de manera localizada. Por ejemplo, se han investigado matrices nanofibrosas capaces de incorporar agentes antimicrobianos, el caso de nanopartículas de plata (Ag NPs) para combatir microorganismos presentes en las heridas. También pueden diseñarse sistemas que transporten moléculas con propiedades antiinflamatorias, antioxidantes o relacionadas con la regeneración del tejido. Otro caso, como fue estudiado por Solhjoui, M, et. al. (2024) es el uso de las nanofibras para la liberación de metformina con el fin de tratar mediante medicamento las heridas. De esta manera, la nanofibra puede cumplir simultáneamente dos funciones: proporcionar un soporte físico semejante a la arquitectura de la matriz extracelular y funcionar como un sistema de administración localizada.

Esta posibilidad resulta especialmente relevante para el tratamiento de las úlceras de pie diabético. En lugar de pensar en un apósito únicamente como una barrera entre la herida y el ambiente, la

ingeniería de tejidos plantea la posibilidad de convertirlo en una plataforma activa que participe en el proceso de recuperación.

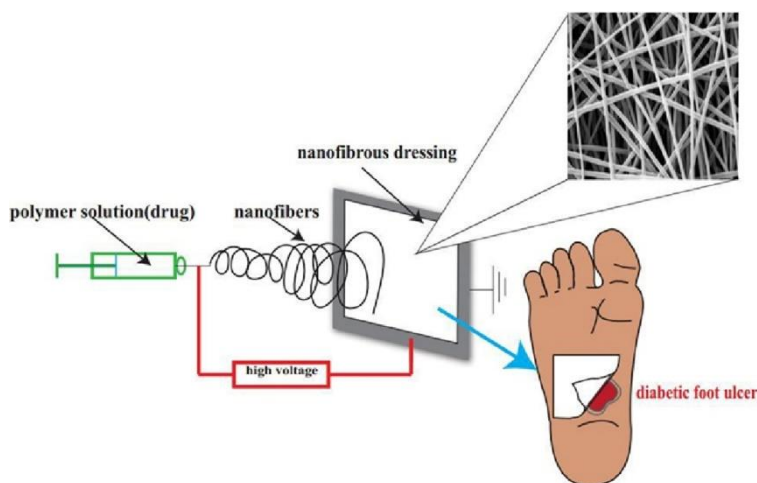


Figura 2. Aplicaciones de nanofibras en pie diabético.

Nota. Tomada del *Graphical abstract* de Liu et al. (2019), *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 14(2), 130-143.

Más allá del pie diabético

Aunque las úlceras asociadas con el pie diabético representan una de las aplicaciones más evidentes, el potencial de las nanofibras no se limita a esta complicación.

La piel es uno de los tejidos que constantemente se encuentra expuesto a lesiones. Quemaduras, heridas quirúrgicas, traumatismos y lesiones crónicas requieren la recuperación coordinada de diferentes componentes celulares y estructurales. En todos estos casos, un material capaz de proteger la zona afectada y proporcionar un ambiente favorable para la regeneración puede tener un papel importante.

Las matrices nanofibrosas han sido estudiadas precisamente con este propósito. Su estructura puede favorecer la adhesión celular y ofrecer soporte durante la formación de nuevo tejido. Además, sus propiedades pueden modificarse mediante la selección de diferentes polímeros y mediante la incorporación de sustancias bioactivas.

Esta flexibilidad es fundamental. No todas las heridas son iguales y, por lo tanto, no debería esperarse que un único material funcione de la misma manera para todas ellas. Una quemadura extensa, una úlcera de pie diabético infectada y una lesión cutánea superficial presentan necesidades diferentes. La posibilidad de modificar las características de una matriz nanofibrosa permite pensar en tratamientos cada vez más específicos.

¿Una solución para todos?

A pesar de su potencial, sería un error presentar las nanofibras como una solución definitiva para las complicaciones de la diabetes. Una tecnología puede ser prometedora en el laboratorio y, al mismo tiempo, enfrentar importantes obstáculos antes de convertirse en una terapia disponible para los pacientes.

La cicatrización de una herida diabética depende de múltiples factores. Un apósito avanzado no puede sustituir el control metabólico, el tratamiento de infecciones, la reducción de presión sobre la herida, el cuidado vascular ni la atención médica especializada. Las nanofibras deben entenderse como una posible herramienta dentro de una estrategia terapéutica mucho más amplia.

También existen desafíos relacionados con la fabricación, esterilización, estabilidad, degradación, seguridad y liberación controlada de los componentes incorporados en las matrices. La selección del polímero es igualmente importante, pues debe encontrarse un equilibrio entre propiedades mecánicas, biodegradabilidad y biocompatibilidad. Ahmadi Bonakdar y Rodrigue (2024) señalan que las condiciones del proceso de electrospinning y las características de los materiales empleados influyen directamente en las propiedades finales de las fibras.

Por ello, el verdadero reto no consiste simplemente en fabricar fibras cada vez más pequeñas. El desafío es comprender qué características debe tener una matriz para interactuar adecuadamente con un tejido humano específico y, posteriormente, demostrar que esa interacción realmente produce un beneficio clínico.

Cuando la nanotecnología se encuentra con la medicina

La importancia de las nanofibras para el tratamiento de las heridas diabéticas no radica únicamente en su tamaño. Su verdadero potencial se encuentra en la posibilidad de diseñar materiales que interactúen con el organismo de una manera más cercana a la biología del tejido.

La ingeniería de tejidos parte de una idea que parece sencilla, pero que representa un cambio importante en la manera de abordar la medicina regenerativa: en lugar de limitarse a reemplazar un tejido dañado, se busca proporcionar las condiciones necesarias para que el propio organismo participe en su recuperación.

Las nanofibras representan una herramienta particularmente interesante para este propósito porque permiten combinar estructura y función. Su arquitectura puede proporcionar un soporte semejante a determinados elementos de la matriz extracelular, mientras que su composición puede modificarse para incorporar agentes terapéuticos. Esta combinación abre la posibilidad de desarrollar apósitos inteligentes y sistemas personalizados para diferentes tipos de lesiones.

En el caso de la diabetes, esta búsqueda adquiere una dimensión especialmente importante. Una herida crónica no solamente representa una lesión física; puede afectar la movilidad, la independencia y la calidad de vida de una persona. Evitar que una pequeña lesión evolucione hacia

una complicación grave, significa también reducir hospitalizaciones, procedimientos invasivos y, en los casos más severos, amputaciones.

Por otro lado, la nanotecnología y medicina regenerativa presentan obstáculos como la misma reacción biológica que pueda tener el cuerpo humano respecto a la aplicación de estos apósitos. Se han planteado el uso de diferentes polímeros biocompatibles, ya sean sintéticos o naturales para optimizar su fabricación y el proceso terapéutico en el paciente. La elección óptima de estos materiales y los compuestos bioactivos adicionados a las nanofibras dependen de una profunda investigación previa hacia el paciente, pero representan un mayor éxito en los resultados.

Por esta razón, investigar nuevas formas de tratar las heridas diabéticas no es únicamente una cuestión de innovación tecnológica. Es una búsqueda por responder a una necesidad médica y social.

Una herida, una oportunidad para innovar

La próxima generación de tratamientos para heridas probablemente no dependerá de una única tecnología. La medicina regenerativa avanza hacia la integración de diferentes disciplinas capaces de abordar simultáneamente los problemas biológicos y físicos que dificultan la recuperación de los tejidos.

En este escenario, las nanofibras obtenidas mediante electrospinning representan una alternativa prometedora. Su capacidad para formar estructuras biomiméticas, servir como soporte para las células y transportar agentes terapéuticos las convierte en una plataforma versátil para investigar nuevas estrategias contra las heridas crónicas, las úlceras de pie diabético, las quemaduras y otras lesiones cutáneas.

Sin embargo, el valor de esta tecnología no debería medirse solamente por lo sofisticado de su fabricación. Su verdadero éxito llegará cuando una estructura creada en el laboratorio pueda convertirse en una herramienta segura, accesible y eficaz para una persona que enfrenta una herida que simplemente no consigue sanar.

La nanotecnología, en este sentido, no busca hacer más pequeño un tratamiento. Busca hacerlo más cercano a la escala en la que ocurre la vida celular. Y quizá sea precisamente ahí, en dimensiones que nuestros ojos no pueden observar, donde se encuentre una parte de la respuesta para reparar heridas que durante mucho tiempo hemos considerado difíciles de sanar.

Referencias

- Ahmadi Bonakdar, M., & Rodrigue, D. (2024). Electrospinning: Processes, structures, and materials. *Macromol*, 4(1), 58-103. <https://doi.org/10.3390/macromol4010004>
- dos Santos, D. M., Correa, D. S., Medeiros, E. S., Oliveira, J. E., & Mattoso, L. H. C. (2020). Advances in functional polymer nanofibers: From spinning fabrication techniques to recent biomedical applications. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(41), 45673-45701. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c12410>
- Liu, Y., Zhou, S., Gao, Y., & Zhai, Y. (2019). Electrospun nanofibers as a wound dressing for treating diabetic foot ulcer. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 14(2), 130-143. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2018.04.004>
- Ma, Z., Kotaki, M., Inai, R., & Ramakrishna, S. (2005). Potential of nanofiber matrix as tissue-engineering scaffolds. *Tissue Engineering*, 11(1-2), 101-109. <https://doi.org/10.1089/ten.2005.11.101>
- Maldonado-Valer, T., Pareja-Mujica, L. F., Corcuera-Ciudad, R., Terry-Escalante, F. A., Chevarría-Arriaga, M. J., Vasquez-Hassinger, T., & Yovera-Aldana, M. (2023). Prevalence of diabetic foot at risk of ulcer development and its components stratification according to the international working group on the diabetic foot (IWGDF): A systematic review with metanalysis. *PloS one*, 18(11), e0284054. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0284054>
- Maleki et al. *J Nanobiotechnol* (2021) 19:317 <https://doi.org/10.1186/s12951-021-01065-2>
- Nemati, S., Kim, S.-J., Shin, Y. M., & Shin, H. (2019). Current progress in application of polymeric nanofibers to tissue engineering. *Nano Convergence*, 6, 36. <https://doi.org/10.1186/s40580-019-0209-y>
- Pradhan, M., Basha, N. S., Sahu, K. K., Yadav, K., Sucheta, Dubey, A., Pradhan, H. K., & Kirubakaran, J. (2025). Engineering nanofibers for cutaneous drug delivery systems and therapeutic applications. *Medicine in Novel Technology and Devices*, 27, 100386.
- Sell, S. A., McClure, M. J., Barnes, C. P., Knapp, D. C., Walpoth, B. H., Simpson, D. G., & Bowlin, G. L. (2007). Extracellular matrix regenerated: Tissue engineering via electrospun biomimetic nanofibers. *Polymer International*, 56(11), 1349-1360. <https://doi.org/10.1002/pi.2344>
- Solhjoui, M., Sazegar, MR y Hamidinezhad, H. Liberación prolongada de metformina mediante nanofibras compuestas de Met@SiO₂ / PVA para el control de la diabetes tipo II. *Appl. Phys.* A130, 449 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00339-024-07594-5>
- Yuqing Dong, Wenbo Wu, Xinyu Li, Renat Khaydarov, Lexin Zhang, Tifeng Jiao; Electrospun Nanofiber Dressings for Diabetic Wounds: From Single-Layer to Intelligent Composite Systems. *ACS Biomater. Sci. Eng.* 2026; <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.6c00723>

Sobre los autores:

Ivanna Gisell Vázquez Casillas

Ivanna Gisell Vázquez Casillas es estudiante de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica de la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP). En enero de 2026 ingresó al Programa de Honores bajo la asesoría del Dr. Felipe Córdova Lozano, con un proyecto enfocado en el desarrollo de nanoestructuras para la regeneración y reparación de tejidos.

Antes de incorporarse a Ingeniería Biomédica, cursó cuatro semestres de Ingeniería Textil en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), donde adquirió conocimientos en procesos de polimerización, caracterización y tratamiento de fibras. Durante este periodo participó, bajo la tutoría de la profesora Susana Alcaraz, en el desarrollo de una propuesta de bioplásticos a partir de residuos orgánicos. Actualmente, sus principales áreas de interés son la medicina regenerativa y la ingeniería de tejidos. Asimismo, ha participado en congresos, conferencias y seminarios relacionados con la investigación y la divulgación científica.

Contacto: ivanna.vazquezcs@udlap.mx

Dr. Felipe Córdova Lozano

Felipe Córdova Lozano es Doctor en Química, con especialidad en Química Molecular y Estructural, por la Universidad Joseph Fourier de Grenoble, Francia. Es Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Química por la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) y Licenciado en Química Industrial por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP).

Ha realizado estancias de investigación en Brigham Young University y The University of Texas at San Antonio, donde trabajó en la caracterización de nanomateriales unidimensionales mediante microscopía electrónica de barrido y de transmisión. Cuenta con 21 artículos publicados en revistas internacionales arbitradas y ha dirigido 20 tesis de licenciatura y posgrado.

Actualmente es profesor-investigador de tiempo completo del Departamento de Ciencias Químico-Biológicas de la UDLAP y miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII), nivel 1 (2023-2027). Sus líneas de investigación se centran en el desarrollo y aplicación de nanomateriales unidimensionales, entre ellos nanofibras de óxidos metálicos y polímeros obtenidas mediante electrospinning, nanotubos de óxidos metálicos y nanoalambres de plata, con aplicaciones en energías renovables, catálisis y fotocatalisis. También desarrolla investigación en materiales de carbono para la remediación de sitios acuáticos contaminados con colorantes y metales pesados.

Contacto: felipe.cordova@udlap.mx