

# NANOCELULOSA: UN MATERIAL CON POTENCIAL EN EL TRATAMIENTO DE HERIDAS EN LA PIEL

## NANOCELLULOSE: A NANOMATERIAL WITH POTENCIAL IN THE TREATMENT OF SKIN WOUNDS

Abigail Castro-Ramos, Fernando Ramírez-Luna & Xiadani E. Susano-Hernandéz

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
Facultad de Ciencias Biológicas  
Licenciatura en Biotecnología  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
CU, Puebla PUE, C.P. 72570

### Resumen

La Nanocelulosa es un polímero con un tamaño menor a 100 nm. De acuerdo a sus dimensiones y su origen presenta diferentes características que se pueden aprovechar para su empleo en el área biomédica. Diversos estudios han demostrado que es un material de costo relativamente bajo con alta disponibilidad y capacidad de renovación, gran biocompatibilidad, absorción, retención de agua, transparencia óptica, baja inmunogenicidad, baja toxicidad y características quimio-mecánicas. Esta investigación, se centra en las aplicaciones biomédicas actuales de la nanocelulosa como material para vendajes avanzados, en la cicatrización de heridas y en la ingeniería de tejidos de la piel, de igual forma se abordan las perspectivas a futuro de este nanomaterial.

**Palabras clave:** Nanocelulosa, Reparación de tejidos, Biomedicina, Heridas en la piel, Nanocelulosa bacteriana.

### Abstract

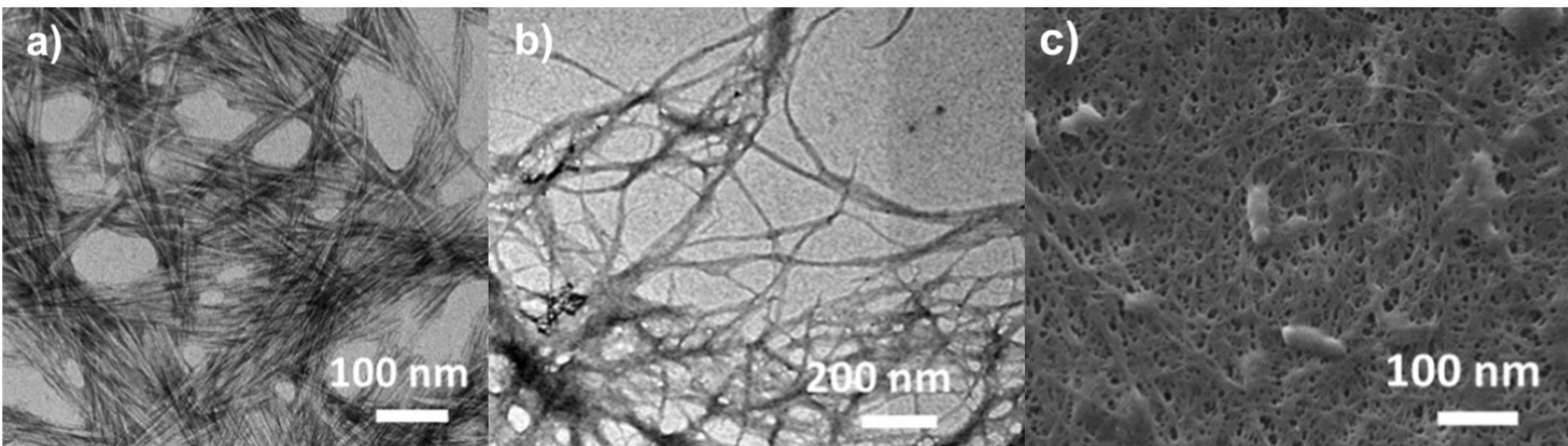
Nanocellulose is a polymer with a size less than 100 nm. According to its dimensions and its origin, it presents different characteristics that can be used for its use in the biomedical area. Several studies have shown that it is a relatively low-cost material with high availability and renewability, high biocompatibility, absorption, water retention, optical transparency, low immunogenicity, low toxicity, and chemo-mechanical characteristics. This research focuses on the current biomedical applications of nanocellulose as a material for advanced bandages in wound healing and skin tissue engineering, as well as the future prospects of this nanomaterial.

**Keywords:** Nanocellulose, Tissue repair, Biomedicine, Skin wounds, Bacterial nanocellulose.

## Introducción

La celulosa, un polímero lineal de glucosa, es el biomaterial que más se encuentra en nuestro planeta. La nanocelulosa (NC) es aquella nanoestructura conformada por celulosa con un tamaño menor a 100 nm en una dimensión (Bacakoba et al., 2019).

La clasificación de los biopolímeros de nanocelulosa se dan según sus dimensiones y la fuente de la que es extraída, dividiéndose en tres: 1) nanocristales de celulosa (CNC) o nanocelulosa cristalina (NCC) y nanobigotes de celulosa; 2) nanofibrillas de celulosa (CNF) o nanocelulosa fibrilada (NFC) y 3) nanocelulosa bacteriana (BNC) (Abitbol et al., 2016).



**Figura 1.** Diferentes tamaños y morfologías de materiales a base de celulosa por microscopía electrónica de barrido (SEM) o microscopía electrónica de transmisión (TEM). (a) nanocristales de celulosa (CNC) de

origen vegetal; (b) nanofibras de celulosa (CNF) de origen vegetal; (c) nanocelulosa bacteriana (BNC) (Meftahi et al., 2022).

Conociendo esto, la nanocelulosa se puede obtener de diversas fuentes naturales, como son los animales, plantas, algas y bacterias. En el caso de la BNC, el género precursor más eficiente para producir nanocelulosa en su medio extracelular es *Gluconacetobacter*, o bien otros géneros de bacterias gramnegativas, como *Acetobacter*, *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Agrobacterium*, *Alkaligenes*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Rhodobacter*, *Salmonella* y *Sarcina* (Bacakoba et al., 2019); todas con la finalidad de protegerse de la desecación, la irradiación, la falta de oxígeno y los patógenos (Kutová et al., 2021). Las ventajas respecto a la celulosa vegetal son la obtención libre de contaminantes como la pectina, hemicelulosa, lignina y la presentación de una red fina de fibras. Las principales materias primas de la nanocelulosa vegetal son las suculentas, tubérculos, arbustos o fuentes derivadas de árboles; para el caso de las algas son *Cystoseira myrica* y *Cladophora*; y respecto a los animales, el filo Chordata es una de las principales fuentes de nanocelulosa (Bacakoba et al., 2019).

Para extraer la nanocelulosa existen diferentes métodos que involucran rutas químicas, acción enzimática, movimiento mecánico y rutas fisicoquímicas. Los parámetros que se consideran antes del aislamiento son la cristalinidad, longitud de la cadena, porosidad y el área superficial de la nanocelulosa. Recientemente, la limpieza con productos químicos agresivos podría sustituirse por autoclave y tratamiento con radiación gamma. Aunque las técnicas de cultivo son complejas, se emplea menor energía para la producción y purificación, lo que vuelve a la BNC un material más ecológico. La calidad de las fibras BNC tipo cinta sintetizadas depende en gran medida de la eficiencia de lavado (Meftahi et al., 2022).

**Tabla 1. Métodos para el aislamiento de la nanocelulosa (Thakur et al., 2021).**

Método	Descripción
Rutas químicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alcalino → NaOH, KOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, etc.</li> <li>• Ácido → HCl, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, etc.</li> <li>• Oxidación → H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</li> <li>• Solventes iónicos → Mezcla de cationes orgánicos superiores y aniones inorgánicos inferiores.</li> <li>• Solventes → Metanol, etanol, cetonas, benceno, etc.</li> </ul>
Vía enzimática	La ruta enzimática se utiliza para obtener celulosa nanoestructurada, se requiere un conjunto de celulasas para el tratamiento de la celulosa. La vía obtiene mayores rendimientos, tiene costos mínimos de energía, alta selectividad y es amigable con el ambiente.
Vías mecánicas	<p>Se utiliza para generar fibras finas e involucra varios procesos de aislamiento, como métodos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Homogeneización a alta presión → Tratamiento eficaz sin uso de disolventes tóxicos.</li> <li>• Citrotitruración → Las fibras se tratan con nitrógeno líquido para obtener cristales de hielo que ejercen una mayor presión dentro de la pared celular, lo que resulta en la desintegración de la pared celular y la formación de nanocelulosa.</li> <li>• Ultrasonificación → Se realiza a través de ondas ultrasónicas de mayor intensidad, con una temperatura y una presión superiores a 5000 °C y 500 atm respectivamente, lo que da como resultado una fibrilación eficaz de la nanocelulosa.</li> </ul>
Rutas fisicoquímicas	La ruta fisicoquímica es la combinación de los enfoques químico y mecánico, en la que las fibras naturales se tratan primero químicamente y luego mecánicamente mediante enfoques de sonicación u homogeneización.

## Diferentes rutas para la funcionalización superficial de celulosa nanoestructurada

Sus características lo hacen un nanomaterial con un extenso campo de aplicaciones como lo son la conservación de alimentos, envasado, almacenamiento de energía, para aislamiento térmico, tratamiento de aguas, como material de adsorción, como sensores, materiales antimicrobianos, en la industria del papel y textiles, en cosméticos y principalmente en la administración de fármacos e ingeniería de tejidos (Bejoy et al., 2018; Abitbol et al., 2016).



Figura 2. Diversos campos de aplicación de la nanocelulosa. Elaborada en BioRender.

Tabla 2. Características y aplicaciones de diferentes biopolímeros de nanocelulosa

Biopolímero	Características	Aplicaciones
Nanocelulosa bacteriana (BNC)	Biocompatibilidad, resistencia, estabilidad térmica, elasticidad y buena conductividad.	Materiales antimicrobianos, en sensores e industria del papel.
Nanofibrillas de nanocelulosa (CNF)	Elasticidad, estabilidad, biocompatibilidad, absorción, resistencia y elevada área de superficie.	Separación de contaminantes de aguas residuales, en ingeniería de tejidos o en apósitos para heridas.
Nanocelulosa cristalina (NCC)	Alta estabilidad, biocompatibilidad y elevada área de superficie.	Inmovilización y catálisis de enzimas, generación de materiales antimicrobianos, eliminación de fármacos y nanohíbridos magnéticos.
Nanocristales de celulosa (CNC)	Poca conductividad eléctrica, porosidad, estabilidad térmica y resistencia.	Biodetección.

## Aplicaciones biomédicas

Hoy en día, la industria está más interesada en el desarrollo de soluciones de “tecnología verde” sobre todo en productos del área médica para satisfacer las demandas de productos para el cuidado de la piel, los cosméticos y el cuidado terapéutico y protector que estimulan las funciones de la piel como la cicatrización, la termorregulación y la inmunidad (Meftahi et al., 2022). Tomando eso en cuenta, estudios de materiales como la nanocelulosa ha demostrado tener una excelente biocompatibilidad, absorción, retención de agua, transparencia óptica, baja inmunogenicidad, baja toxicidad y características quimio-mecánicas, al mismo tiempo, es un material de costo relativamente bajo con alta disponibilidad y capacidad de renovación que lo hacen un biopolímero atractivo para el uso en ingeniería de tejidos (Bacakoba et al., 2019; Kumar & Han, 2021).

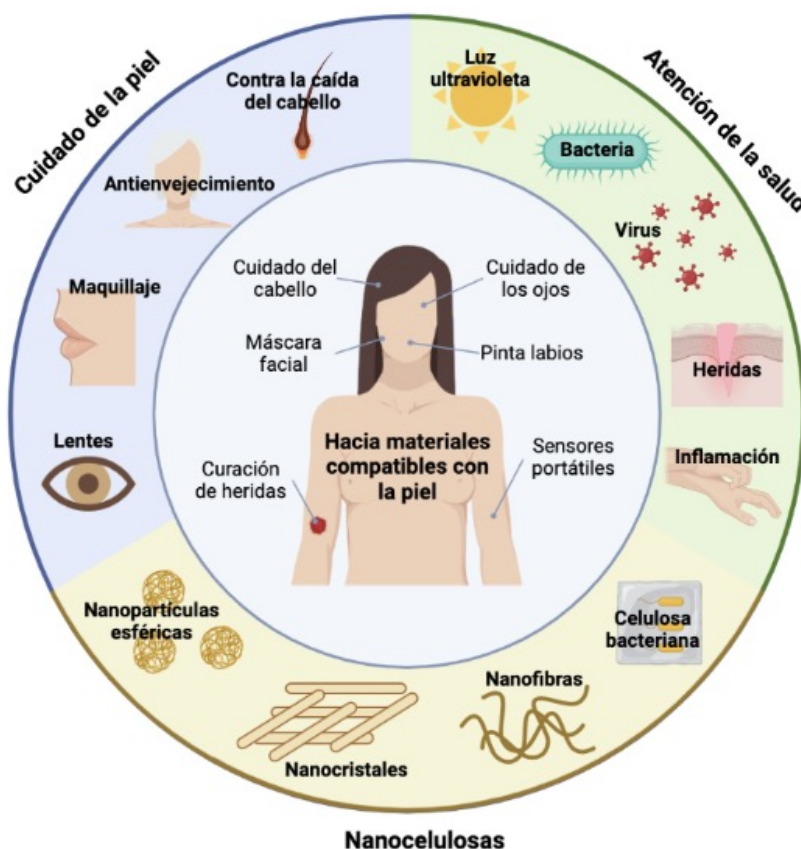


Figura 3. Diferentes tipos de nanocelulosa para el cuidado de la piel, cosméticos y atención médica (Meftahi et al., 2022).

En particular la BNC el único tipo de celulosa que se puede producir biotecnológicamente (Klemm et al., 2021) a pesar de contener un 99 % de agua, tiene excelentes propiedades mecánicas debido a su morfología nanoestructurada similar a la del colágeno, haciéndola altamente compatible para la inmovilización y adhesión celular (Sharma & Bhardwaj, 2019). Su aplicación puede ser en forma de geles o aerosoles, de manera que aumenta su rendimiento mecánico, permitiendo que la flexibilidad del compuesto se ajuste para imitar el comportamiento de tejidos específicos para promover el crecimiento de células. No obstante, para el uso del bio-nanocompuesto en el área de salud debe ser biodegradable, biocompatible, tener un rendimiento mecánico óptimo (buena flexibilidad y alta elongación a la rotura), porosidad, etc. Sin embargo, estos requisitos difieren según el tipo de tejido al que vaya dirigido (Subhedar et al., 2021).

Además la BNC pertenece a la categoría de productos generalmente reconocidos como seguros (GRAS) (Sharma & Bhardwaj, 2019).



**Tabla 3. Propiedades de la nanocelulosa bacteriana (BNC) hacia las aplicaciones en el área médica (Sharma & Bhardwaj, 2019).**

Propiedad	Aplicaciones
Absorbancia y resistencia al levantamiento de fibras.	Para apósitos a base de papel.
Resistencia a la humedad: capacidad para soportar temperaturas extremas.	Para el etiquetado como adhesivo en etiquetas de muestras clínicas como la sangre, que deben poder permanecer activas a bajas temperaturas cuando las muestras se colocan en congeladores.
Inercia: evitar cualquier reacción entre los productos químicos del papel y el producto que está empaquetando.	Útil en el envasado de medicamentos e instrumental quirúrgico.
Soporta temperaturas extremadamente altas.	Fácil esterilización por radiaciones Gamma o vapor; útil para envasar equipos estériles.
Biocompatibilidad: no debe inducir toxicidad en contacto con tejidos vivos.	Adecuada para la fabricación de implantes a base de nanocelulosa, apósitos para heridas, mascarillas, pañales a base de celulosa.
Biodegradabilidad.	Útil para la fabricación de andamios, ya que el debe degradarse dentro del cuerpo una vez que se produce la formación de la matriz extracelular original.
Fuerza mecánica.	Adecuado para varios elementos de soporte de carga, como en los implantes de ingeniería de tejido óseo.
Procesabilidad orientada a la aplicación de la nanocelulosa: moldeable a las formas y tamaños deseados in situ.	Mejora de la propiedad de barrera, propiedad mecánica; permeabilidad al aire; absorbencia de aceite, propiedad antimicrobiana. El papel común de lignocelulosa no proporciona suficiente barrera contra el aceite, el agua y el oxígeno, mientras que el embalaje basado en BNC puede superar estos obstáculos.

## Nanocelulosa en vendajes para heridas

La cicatrización de heridas en la piel es un proceso muy complejo y de larga duración, que consta de cuatro etapas. La primera después de la lesión es la hemostasia, un mecanismo que detiene los procesos hemorrágicos (pérdida de sangre) en la herida. La segunda etapa que dura de 1 a 4-6 días es la inflamación, donde se liberan enzimas proteolíticas y citocinas proinflamatorias de las células inmunitarias invasivas en el área de la herida, produciendo especies reactivas de oxígeno (ROS) para la protección contra la infección por bacterias (Zheng et al., 2020). Dicho proceso, continúa con el reclutamiento de neutrófilos atraídos por citocinas inflamatorias producidas por plaquetas activadas, células endoteliales y productos de degradación de agentes patógenos. Así, los neutrófilos reclutados se encargan de limpiar el tejido, además de contribuir a la muerte de los agentes invasores (Gonzalez et al., 2016). Después, la tercera etapa es la proliferación, donde crece y se forma nuevo tejido de granulación para una nueva matriz extracelular. Finalmente, la cuarta etapa de remodelación, para una mayor resistencia a las dos o tres semanas el colágeno III se reemplaza por el colágeno I (Zheng et al., 2020; Gonzalez et al., 2016).

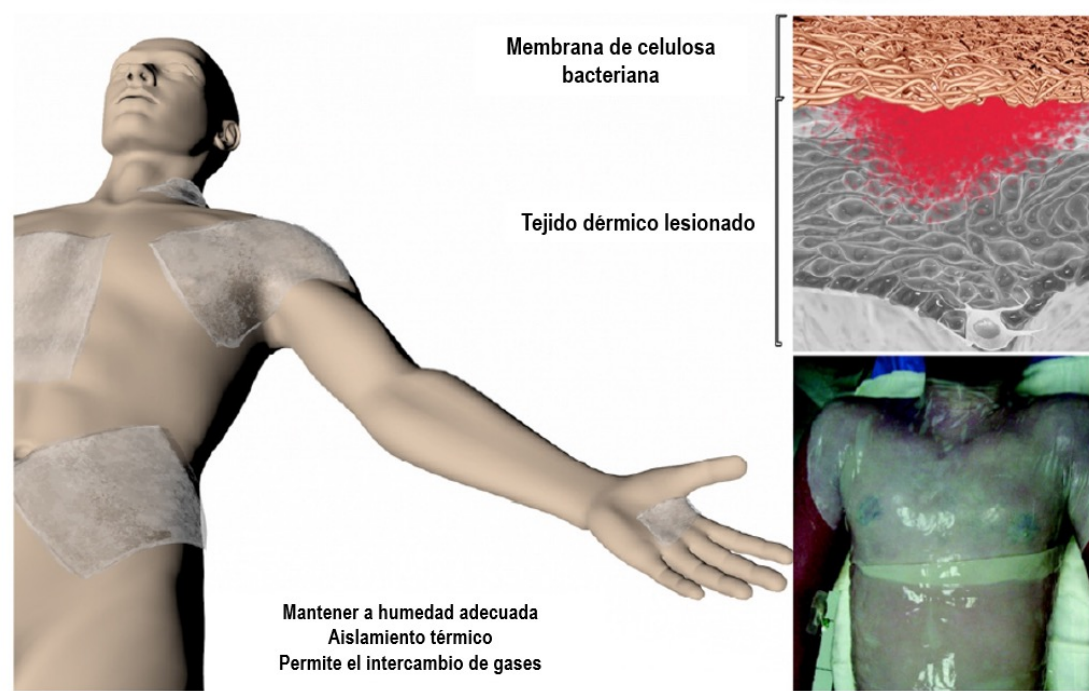
En este sentido, a fin de una recuperación más rápida, el uso de BNC en vendajes para 11 heridas crónicas mostraron una reducción del tiempo medio de cicatrización usando apósitos que no tenían BNC (315 días) con apósitos que si tenían BNC (81 días), favoreciendo la proliferación de células madre del tejido adiposo humano mostrando una baja citotoxicidad (Sionkowska et al., 2019). Sin embargo, los vendajes aún carecen de actividad antibacteriana, desencadenando complicaciones sobre todo en heridas crónicas donde pueden ocurrir cambios fisiológicos severos o tumorigénesis, conduciendo a una producción excesiva de exudados con altos niveles de proteasas destructoras de tejidos y contaminación de heridas (Zheng et al., 2020).

### Nanocelulosa en ingeniería de tejidos

Por otro lado, encontramos la reconstrucción de las dos principales capas de la piel (la epidermis y la dermis) causada por las quemaduras, una de las heridas más traumáticas y complejas de todas las lesiones de la piel. Las quemaduras se dividen en tres grados según su profundidad: (a) primer grado: daño superficial y sólo afecta a la capa externa de la piel (epidermis); (b) segundo grado: puede ser superficial con daño en la epidermis (segundo grado A), o profunda cuando penetra en la dermis (segundo grado B); (c) tercer grado: destrucción de ambas capas de piel, que se extiende al tejido subcutáneo (se recomienda el injerto de piel) (Sionkowska et al., 2019; Sindhu et al., 2014).

En un estudio en niños de 5 meses a 16 años con quemaduras de segundo grado que se trataron con vendajes de BNC, mostraron características únicas y favorables como proporcionar un ambiente húmedo durante el proceso de cicatrización, al mismo tiempo que absorbía los exudados de la herida evitando la infección. Igualmente, hubo una reducción de los niveles de dolor durante el proceso y en los cambios de vendaje (Resch et al., 2021).

Por otro lado, entre otras aplicaciones en la ingeniería de tejidos, encontramos el uso de BNC en tejidos óseos, la regeneración de cartílago, medicalización de la laringe, reparación de defectos esofágicos, etc. (Sionkowska et al., 2019).



**Figura 4.** Uso de membrana de celulosa bacteriana como materiales regeneradores de la piel para quemaduras de la piel y cicatrización de heridas (Meftahi et al., 2022).

De hecho, el tratamiento de las heridas crónicas, como las úlceras venosas de las piernas, las escaras y las diabéticas sigue siendo un reto clínico importante. Según informes recientes sobre las aplicaciones de los apósitos de celulosa microbiana en el tratamiento de las heridas crónicas, éstos presentan propiedades superiores a las de otros materiales existentes para la cicatrización de heridas, incluyendo el alivio inmediato del dolor, buena y estrecha adhesión al lecho de la herida, buena barrera contra la infección, facilidad de inspección de la herida, cicatrización más rápida, mejora de la retención de exudados o reducción del tiempo de tratamiento, así como reducción de costes (Sindhu et al., 2014).

Por ello, en el caso de la ingeniería de tejidos, andamios, cicatrización de heridas, etc., células y vasos sanguíneos específicos también penetran a través de estas estructuras porosas y crecen por todas partes, sin obstaculizar la formación de nuevos tejidos. Asimismo, cabe decir que los puntos de venta únicos más importantes de BNC son: alta pureza, alta termoestabilidad hasta 250 °C, alta estabilidad mecánica, sistema de microporos interconectados y abiertos, que contiene de forma nativa un 99 % de agua (hidrogel).

### Perspectivas a futuro

El uso de nanocelulosas en la regeneración de la piel, la cicatrización de heridas y los sensores portátiles de la piel han atraído una atención generalizada en las últimas décadas. Los diferentes tipos de nanocelulosa se han aplicado en los sectores de monitoreo de la salud. La nanocelulosa como material biocompatible con la piel también ha demostrado un papel vital en el desarrollo de sensores portátiles para la piel, para la orientación in situ de la liberación de biomarcadores de enfermedades de la piel (Meftahi et al., 2022). Se han estudiado diferentes compuestos para emplearlos como plataformas para la BCN para la detección de moléculas y fluidos liberados por la piel.

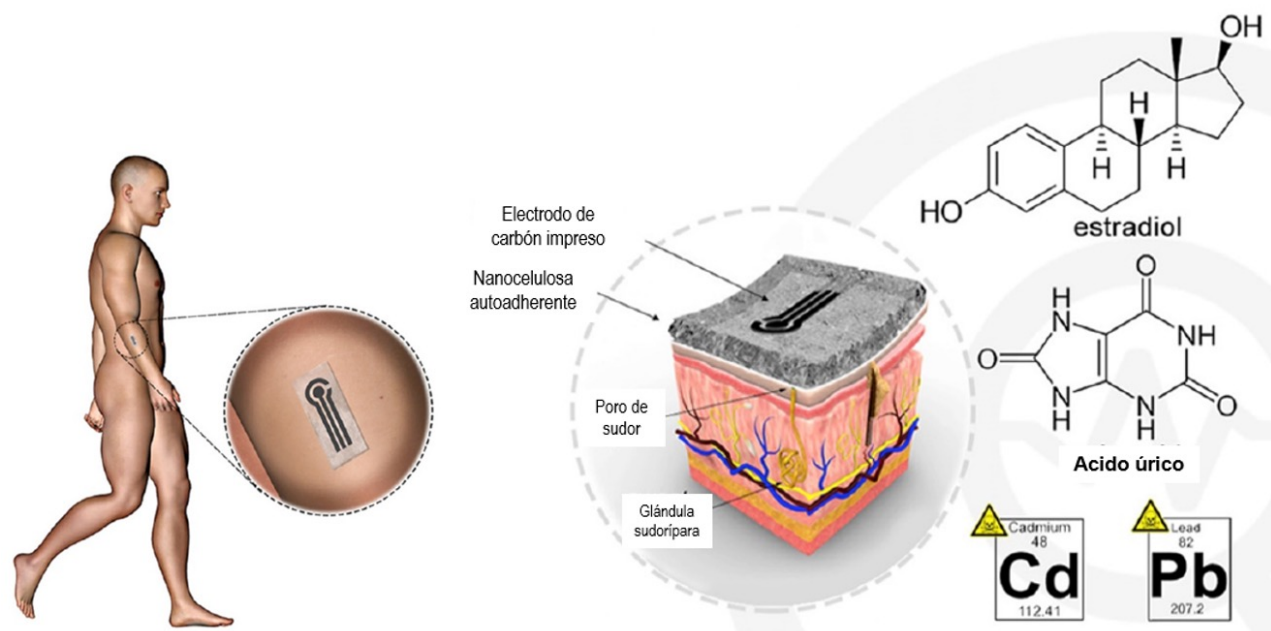


Figura 5. Aplicaciones emergentes de la Nanocelulosa como biomarcadores para la piel (Meftahi et al., 2022).



Los procesos de modificación química de la nanocelulosa, como la acilación, la esterificación y la oxidación, pueden impartir propiedades físicas adecuadas a la nanocelulosa, haciéndolas susceptibles de personalización para diversas aplicaciones. Los sistemas de nanocompuestos de nanocelulosa se exploran ampliamente en la investigación de la cicatrización de heridas. La nanocelulosa cargada con nanopartículas como las nanopartículas metálicas (plata, oro y zinc) posee baja toxicidad y buenas propiedades antibacterianas. La nanocelulosa derivada del injerto superficial y la funcionalización de diferentes nanopartículas y la incorporación de agentes antibacterianos ha mejorado el rendimiento de la nanocelulosa en la cicatrización de heridas (Patel et al., 2021).

En comparación con los polímeros sintéticos, las nanocelulosas también se destacan en el campo de la impresión 3D, en formulación de biotintas, sirviendo como biomaterial de plataforma debido a su alta resistencia mecánica, así como a la similitud estructural que imita la matriz extracelular natural. Sin embargo, el gran desafío es desarrollar formulaciones imprimibles y mantener estables los andamios impresos. Pruebas celulares recientes han demostrado que los andamios de hidrogel de nanocelulosa reticulada impresos en 3D respaldaron la proliferación de células de fibroblastos, que estaba mejorando a medida que aumentaba la rigidez. (Meftahi et al., 2022).

## CONCLUSIÓN

En biomedicina, la nanocelulosa puede participar en el reemplazo y reconstrucción de tejidos. Además de la resistencia a la tracción y la simplicidad de uso, ofrece propiedades como alta capacidad de retención de agua, biocompatibilidad y estructura interna que imita la matriz extracelular, lo que hace que este biopolímero sea bastante atractivo como posible implante de ingeniería tisular. La morfología y la alta pureza de la nanocelulosa imitan la estructura de los tejidos por lo que se han estudiado para poder emplearlas para reconstruir los componentes estructurales y funcionales de la piel, reducir la formación de cicatrices y mejorar la calidad de la cicatrización de heridas. Este nanomaterial gracias a su características se ha vuelto una alternativa prometedora para reducir los desechos y los costos de producción en comparación con polímeros tradicionales. Sin embargo, se deben estudiar a fondo sus características para diseñar formulaciones en las que se explote todo su potencial y no resulten agresivas con los tejidos.

## AGRADECIMIENTO

Se agradece a la Dirección de Bibliotecas BUAP por haber brindado el acceso a diversas plataformas de divulgación científica con las cuales basamos nuestra información, a aquellos autores que han dedicado tiempo y esfuerzo a la investigación sobre este tema, y un especial agradecimiento al Dr. Enrique González Vergara por compartir con nosotros sus conocimientos sobre las técnicas y estrategias para una correcta investigación y redacción de artículos científicos, su asesoramiento hizo posible este trabajo.

### Conflicto de Interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- Abitbol, T., Rivkin, A., Cao, Y., Nevo, Y., Abraham, E., Ben-Shalom, T., Lapidot, S., & Shoseyov, O. (2016). Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications. *Current opinion in biotechnology*, 39, 76-88. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.01.002>
- Bacakova, L., Pajorova, J., Bacakova, M., Skogberg, A., Kallio, P., Kolarova, K., & Svorcik, V. (2019). Versatile application of nanocellulose: From industry to skin tissue engineering and wound healing. *Nanomaterials*, 9(2), 164. <https://doi.org/10.3390/nano9020164>
- Gonzalez, A. C. D. O., Costa, T. F., Andrade, Z. D. A., & Medrado, A. R. A. P. (2016). Wound healing-A literature review. *Anais brasileiros de dermatologia*, 91, 614-620.
- Klemm, D., Petzold-Welcke, K., Kramer, F., Richter, T., Raddatz, V., Fried, W., Nietzsche, S., Bellmann, T., & Fischer, D. (2021). Biotech nanocellulose: A review on progress in product design and today's state of technical and medical applications. *Carbohydrate Polymers*, 254, 117313. <https://doi.biblioteca.uap.elogim.com/10.1016/j.carbpol.2020.117313>
- Kumar, A., & Han, S. S. (2021). Efficacy of Bacterial Nanocellulose in Hard Tissue Regeneration: A Review. *Materials*, 14(17), 4777. <https://doi.org/10.3390/ma14174777>
- Kutová, A., Staňková, L., Vejvodová, K., Kvítek, O., Vokatá, B., Fajstavr, D., Kolská, Z., Brož, A., Bacáková, L., & Švorčík, V. (2021). Influence of Drying Method and Argon Plasma Modification of Bacterial Nanocellulose on Keratinocyte Adhesion and Growth. *Nanomaterials*, 11(8), 1916. <https://doi.org/10.3390/nano11081916>
- Meftahi, A., Samyn, P., Geravand, S. A., Khajavi, R., Alibkhshi, S., Bechelany, M., & Barhoum, A. (2022). Nanocelluloses as skin biocompatible materials for skincare, cosmetics, and healthcare: Formulations, regulations, and emerging applications. *Carbohydrate Polymers*, 278, 118956. <https://doi.biblioteca.uap.elogim.com/10.1016/j.carbpol.2021.118956>
- Patel, K., Shaikh, J., & Khan, T. (2021). Advances in Nanocellulose for Wound Healing Applications. In *Handbook of Nanocelluloses: Classification, Properties, Fabrication, and Emerging Applications* (pp. 1-33). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-62976-2\\_42-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-62976-2_42-1)
- Resch, A., Staud, C., & Radtke, C. (2021). Nanocellulose-based wound dressing for conservative wound management in children with second-degree burns. *International Wound Journal*, 18(4), 478-486. <https://doi.org/10.1111/iwj.13548>
- Sharma, C., & Bhardwaj, N. K. (2019). Bacterial nanocellulose: Present status, biomedical applications and future perspectives. *Materials Science and Engineering: C*, 104, 109963. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.109963>
- Sindhu, K. A., Prasanth, R., & Thakur, V. K. (2014). Medical applications of cellulose and its derivatives: present and future. *Nanocellul. Polym. Nanocompos*, 437-478. <https://doi.org/10.1002/9781118872246.ch16>



## REFERENCIAS

Subhedar, A., Bhadauria, S., Ahankari, S., & Kargarzadeh, H. (2021). Nanocellulose in biomedical and biosensing applications: A review. *International journal of biological macromolecules*, 166, 587-600. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.217>

Thakur, V., Guleria, A., Kumar, S., Sharma, S., & Singh, K. (2021). Recent advances in nanocellulose processing, functionalization and applications: A review. *Materials Advances*, 2(6), 1872-1895. DOI: 10.1039/D1MA00049G

Thomas, B., Raj, M. C., Joy, J., Moores, A., Drisko, G. L., & Sanchez, C. (2018). Nanocellulose, a versatile green platform: from biosources to materials and their applications. *Chemical reviews*, 118(24), 11575-11625. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00627>

Zheng, L., Li, S., Luo, J., & Wang, X. (2020). Latest advances on bacterial cellulose-based antibacterial materials as wound dressings. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 1334. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.593768>