

---

## Breve estado del arte de la celulosa bacteriana y sus aplicaciones

---

**Geraldine Durango Giraldo, Cristina Valls, M. Blanca Roncero**  
CELBIOTECH\_Paper Engineering Research Group, EPSEVG,  
Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

### Resumen

La celulosa es un biopolímero, el cual constituye la pared celular de las plantas, junto con la lignina y la hemicelulosa. La celulosa también puede ser producida por microorganismo, tales como bacterias. Esta celulosa, conocida comúnmente como celulosa bacteriana (BC por sus siglas en inglés), se produce por la fermentación del medio en el que se encuentren las bacterias. Este material, presenta propiedades fisicoquímicas importantes que lo hacen promisorio para diversas aplicaciones en diversos ámbitos como lo son la industria biomédica, industria alimentaria, tratamiento de aguas residuales, biocompuestos, entre otros. En la superficie de la celulosa bacteriana abundan los grupos hidroxilo, lo cual facilita su modificación con diferentes materiales u otros grupos funcionales, con el fin de ampliar su uso en diferentes campos de aplicación. En este trabajo, se mostrarán brevemente, los factores que influyen en la producción de celulosa bacteriana, como puede ser modificada con diferentes materiales y los resultados de algunas investigaciones, donde ha sido utilizada la celulosa bacteriana para diferentes aplicaciones.

### Abstract

Cellulose is a biopolymer that forms the cell wall of plants, along with lignin and hemicellulose. Cellulose can also be produced by microorganisms, such as bacteria. This cellulose, commonly known as bacterial cellulose (BC), is generated through the fermentation of the medium in which the bacteria are located. This material exhibits important physicochemical properties that make it promising for various applications in diverse fields, such as the biomedical industry, food industry, wastewater treatment, biocomposites, among others. The surface of bacterial cellulose is rich in hydroxyl groups, facilitating its modification with different materials or other functional groups, aiming to expand its use in various application areas. This work will briefly showcase

the factors influencing bacterial cellulose production, how it can be modified with different materials, and the results of some studies where bacterial cellulose has been used for various applications.

### 1. Celulosa bacteriana

La celulosa es un biopolímero, el cual constituye la pared celular de las plantas, junto con la lignina y la hemicelulosa. Químicamente, es un homopolisacárido lineal compuesto por unidades de  $\beta$ -D-glucopiranososa que permanecen unidas por enlaces glucosídicos  $\beta$ -1,4 (Lahiri, Nag, Dutta, Dey, Sarkar, Pati et al., 2021). La celulosa también puede ser producida por microorganismo, tales como bacterias. Esta celulosa, conocida comúnmente como celulosa bacteriana (BC por sus siglas en inglés), se produce por la fermentación del medio en el que se encuentren las bacterias y fue descubierta por Brown en 1886, cuando observó la formación de celulosa a partir de la bacteria *Acetobacter xylinum* (Qian, Liu, Wang, Pei, Fu, Ma & Huang, 2023). Se considera una fuente pura, debido a que no hay presencia de lignina ni hemicelulosa en ella. Este material, presenta propiedades fisicoquímicas importantes que lo hacen promisorio para diversas aplicaciones en diversos ámbitos como lo son la industria biomédica, industria alimentaria, tratamiento de aguas residuales, biocompuestos, entre otros.

La BC cuenta con una estructura similar a la de la celulosa convencional, los cuales son polímeros naturales compuestos de muchos enlaces glucosídicos  $\beta$ -1,4 ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>. Cada subunidad de hidrógeno está anclada a un monómero de glucosa vecino en la cadena para formar las fibras de celulosa mediante enlaces de hidrógeno y fuerzas de van der Waals (Qian et al., 2023). En la superficie de la celulosa bacteriana abundan los grupos hidroxilo, lo cual facilita su modificación con diferentes materiales u otros grupos funcionales, con el fin de ampliar su uso en diferentes campos de aplicación.

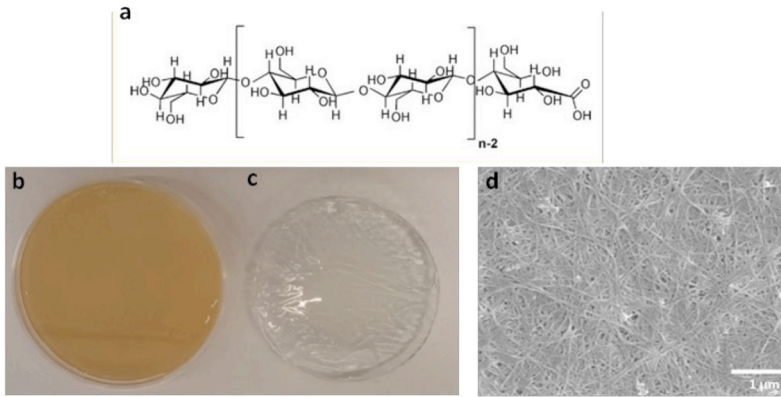


Figura 1. a) estructura química de la BC (Tomada de (Shrivastav, Parmanik, Abdelgawad, Ghoneim, Singh, Abualsoud et al., 2022)), b) BC en crecimiento, c) BC lavada y purificada, d) micrografía SEM de una membrana de BC.

En la figura 1, se muestra la estructura química de la BC, su crecimiento y su estructura fibrilar.

## 2. Producción de celulosa bacteriana

Existen diferentes especies bacterianas que tienen la capacidad de fermentar su medio de crecimiento y así producir celulosa. Generalmente, estas bacterias suelen ser Gram-negativas, siendo la más conocida la *Komagataeibacter* (anteriormente llamada *Gluconacetobacter*) *xylinus*, sin embargo, existen otras especies que pueden hacerlo, tales como *Aerobacter*, *Gluconacterter*, *Gluconobacter*, *Alcaligenes*, *Salmonella* y *Pseudomonas*, entre otras. Se ha reportado que el rendimiento de BC depende principalmente de la disponibilidad y calidad de las fuentes de carbono en el medio de producción (Fernandes, Pedro, Ribeiro, Bortolini, Ozaki, Maciel et al., 2020), sin embargo, dentro de los parámetros más importantes para el crecimiento de la BC se encuentra el nivel de oxígeno, la temperatura, el pH y los medios de cultivo. A continuación, se describe cada uno de ellos.

### **2.1 Nivel de oxígeno**

Debido a la naturaleza aeróbica de las bacterias capaces de producir celulosa, es necesario un constante suministro de oxígeno dentro de los medios dado que éste es fundamental para el metabolismo de las células (Lahiri et al., 2021).

### **2.2 Medios de cultivo**

Uno de los medios más comunes de cultivo es el medio Hestering–schramm (HS), el cual incluye una serie de nutrientes tales como extracto de levadura, glucosa, peptona, fosfato disódico y ácido cítrico (Costa, Almeida, Vinhas & Sarubbo, 2017).

### **2.3. Temperatura**

Se ha reportado que el rango de temperatura óptimo para el crecimiento de la BC está entre 25 y 30 °C. Sin embargo, esto varía según la especie de bacteria empleada. Es importante resaltar que las temperaturas altas pueden causar la desnaturalización de los componentes del medio de cultivo, mientras que temperaturas bajas ralentizan el metabolismo de las células (Lahiri et al., 2021).

### **2.4. pH**

se ha demostrado que un pH ácido o casi neutro (4-6) es el óptimo para la producción de BC. Aunque también se ha reportado que algunas cepas bacterianas requieren pH hasta de 7.5 para un óptimo crecimiento (Lahiri et al., 2021).

## **3. Morfologías de la celulosa bacteriana**

La celulosa bacteriana puede obtenerse con diferentes morfologías y esto puede controlarse mediante el método de cultivo. El método más común de crecimiento es el cultivo en estático, donde se generan películas de BC del diámetro y forma del recipiente que contenga las bacterias y su respectivo medio de crecimiento. Por otra parte,

también se puede producir BC empleando el método de crecimiento dinámico, mediante el cual se obtiene celulosa bacteriana con forma de pellets (esférica). Aquí, es importante controlar la velocidad de agitación del medio, debido a que, una velocidad demasiado baja, puede formarse una gran masa sólida de BC, mientras que, a velocidades muy altas, se puede formar BC de formas irregulares. Se ha reportado que una velocidad óptima de agitación para obtener esferas de BC, está entre 130 y 150 rpm (Lahiri et al., 2021). En la figura 2, se pueden observar las morfologías de BC obtenidas mediante diferentes tipos de cultivo.

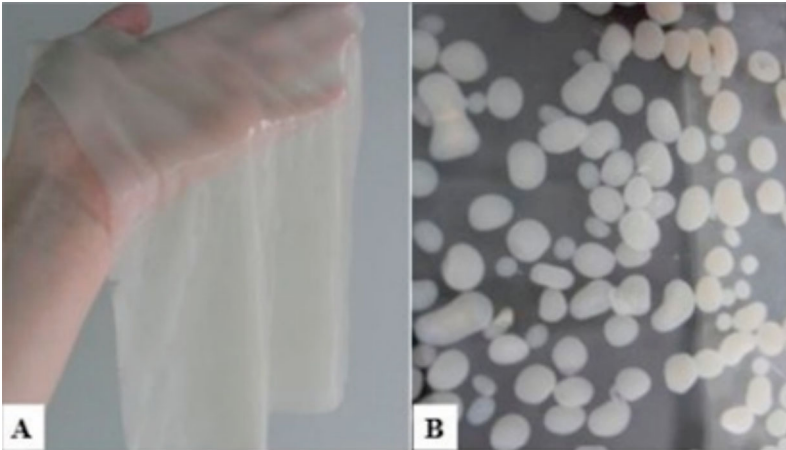


Figura 2. a) BC obtenida en cultivo estático, b) BC obtenida en cultivo dinámico (Revin, Liyaskina, Parchaykina, Kuzmenko, Kurgaeva, Revin et al., 2022).

#### 4. Modificación de celulosa bacteriana

Como se mencionó previamente, en la superficie de la celulosa bacteriana se encuentra una gran cantidad de grupos hidroxilo (-OH). Estos grupos funcionales permiten que la BC pueda ser modificada por diferentes métodos físicos o químicos, con el fin de introducir nuevos grupos funcionales o materiales en su superficie y que, de

esta manera, pueda ser empleada en múltiples aplicaciones. Esta modificación de la celulosa se puede realizar en los diferentes estadios de formación de la BC.

#### **4.1 Método Ex situ**

Mediante este método, membranas o hidrogeles de celulosa bacteriana pueden ser modificadas después de haber sido conformadas. Este método es comúnmente usado cuando por algún motivo el material que se quiere incluir o la modificación que se quiere realizar a la BC, impide un normal crecimiento de la membrana, por lo tanto, debe hacerse después de obtener dicho material (Pan, Li, Ma, Ma & Gao, 2023).

#### **4.2 Método In situ**

este método consiste en incluir el material o reactivo de modificación en el medio de crecimiento de la BC. Es importante mencionar que no todos los materiales pueden ser incluidos en el medio de crecimiento, por ejemplo, materiales antibacterianos, por poseer esta propiedad, no son acordes para la modificación in situ. Adicionalmente, la inclusión de agentes externos en el medio de crecimiento puede ralentizar o detener el crecimiento de la BC (Pan et al., 2023).

### **5. Aplicaciones de la celulosa bacteriana**

#### **5.1 Biomédica**

BC se ha utilizado como matriz de diferentes compuestos para diversas aplicaciones biomédicas, como la regeneración ósea, el tratamiento de quemaduras, andamios, material antibacteriano, entre otros (Wahid, Huang, Zhao, Li, Wang, Jia et al., 2021). Para conferir la propiedad antibacteriana a la BC, se ha estudiado su modificación con materiales que poseen esta propiedad. Además, es importante destacar que, para aplicaciones biomédicas, los materiales con los que posiblemente se modifique la BC deben ser biocompatibles y no

tóxicos. En ese sentido, (Ul-Islam, Alhajaim, Fatima, Yasir, Kamal, Abbas et al., 2023) estudió las propiedades antibacterianas de un compuesto de BC/cáscara de granada. Inicialmente, utilizando el método de Soxhlet, obtuvieron el extracto de las cáscaras de granada, la membrana de BC se obtuvo utilizando la cepa bacteriana *G. hansenii* en el medio de Hestrin-Schramm (HS) y realizaron la modificación ex situ de la membrana, preparando previamente una solución al 20 % en peso del extracto de cáscara de granada obtenido. Determinaron la capacidad antibacteriana de este compuesto y encontraron buenos resultados contra cepas de *S. aureus* y *E. coli*, mostrando una mayor actividad antibacteriana contra *S. aureus*. Así mismo, (Zeng, Yang, Tong & Zhao, 2023) modificó la BC con nanopartículas de plata sintetizadas in situ mediante reducción térmica, evitando así el uso de agentes reductores que contaminan el medio ambiente. Obtuvieron partículas de aproximadamente 25.2 nm. Este material mostró una fuerte actividad antibacteriana contra *S. aureus* y *E. coli*.

## 5.2 Empaque de alimentos

Las industrias responsables del empaque de productos alimenticios se han convertido en uno de los mayores productores de residuos plásticos en los últimos años (Jabłońska, Onyszko, Konopacki, Augustyniak, Rakoczy & Mijowska, 2021). Por lo tanto, se están estudiando diversos materiales alternativos que cumplan con los requisitos y propiedades fisicoquímicas para su uso en esta industria y, además, sean biodegradables y, en algunos casos, incluso comestibles. En este sentido, (Liao, Liu, Zhao, Lu, Feng & Sun, 2023) probó las propiedades antibacterianas y de conservación de alimentos de películas de BC modificadas con quitosano y  $\epsilon$ -polilisina. Inicialmente, la BC fue oxidada con periodato de sodio ( $\text{NaIO}_4$ ) y posteriormente modificada con diferentes concentraciones de los materiales mencionados anteriormente. Las pruebas antibacterianas se realizaron contra *E. coli* y *S. aureus*, mientras que la tilapia fue el alimento elegido para las pruebas de conservación de alimentos.

Descubrieron que la actividad antibacteriana de las películas contra *S. aureus* y *E. coli* mejoró significativamente con el aumento del contenido de  $\epsilon$ -polilisina. Además, encontraron que el material prolonga la vida útil de la tilapia, por lo que podría ser una alternativa prometedora para el envasado de alimentos. Asimismo, (Zhou, Fu, Bian, Chang & Zhang, 2022) formó una película natural de curdlano y agregó celulosa bacteriana y aceite esencial de canela. Probaron sus propiedades fisicoquímicas y antibacterianas para su uso en la producción de envases de alimentos. Además, se probó la conservación de pollo refrigerado. Descubrieron que la adición de BC a curdlano mejoró la cristalinidad y la estabilidad térmica de las películas, pero se redujo la permeabilidad al vapor de agua, el contenido de humedad y la luminosidad. Además, la adición de aceite esencial de canela dio a las películas una buena capacidad antioxidante, que podría frenar eficazmente la oxidación lipídica cuando el pollo se almacenaba a 4 °C.

### **5.3. Tratamiento de aguas residuales**

#### **5.3.1 Degradación de colorantes**

Varios autores han estudiado el uso de la celulosa bacteriana para la eliminación de diferentes colorantes presentes en aguas residuales. Para este propósito, la celulosa bacteriana puede o no ser modificada. Leal, De Lima, Azevedo, Santos, Zaidan, De Lima et al. (2021) utilizaron membranas de BC no modificadas para la adsorción del colorante Remazol Black B. En este estudio, se probaron diferentes pH y temperaturas de reacción. Los resultados mostraron un mayor porcentaje de adsorción (92 %) a pH 3.5 y concluyeron que la adsorción de BC aumenta con el aumento de la temperatura. Por otro lado, Brandes, Trindale, Vanin, Vargas, Carminatti, Al-Oureshi et al. (2018) evaluaron la actividad fotocatalítica de esferas de celulosa bacteriana modificadas con TiO<sub>2</sub> mediante dos técnicas diferentes (ex situ e in situ) a través de la degradación de azul de metileno bajo la influencia de la luz. Obtuvieron una degradación del colorante



después de 35 minutos y bajo la influencia de la luz del 89.58 % y del 70.83 % para las muestras preparadas por el método *ex situ* e *in situ*, respectivamente. La diferencia en la degradación del colorante entre ambas técnicas de modificación puede asociarse con una mejor distribución de las partículas agregadas en la BC mediante el método *ex situ*, lo que mejora su rendimiento.

### 5.3.2 Separación agua/aceite

La separación de emulsiones también ha sido un foco de estudio para posibles aplicaciones de la celulosa bacteriana. Wahid, Zhao, Cui, Wang, Wang, Jia et al. (2022) fabricaron una membrana de celulosa bacteriana modificada con  $\text{TiO}_2$  y  $\text{ZnO}$  para la separación agua/aceite y obtuvieron eficiencias de hasta el 99.25 %. Además, estudiaron el efecto antibacteriano de los compuestos y encontraron que las membranas de BC y BC/ $\text{TiO}_2$  no mostraron actividad antibacteriana, mientras que los compuestos también preparados con  $\text{ZnO}$  sí mostraron actividad antibacteriana a medida que aumentaba la concentración de  $\text{ZnO}$  en las membranas. Además, Than-ardna, Weder y Manuspiva (2023) prepararon membranas de BC modificadas con  $\text{SiO}_2$  mediante la síntesis *in situ* de las nanopartículas, variando diferentes parámetros como el tiempo de inmersión, la relación entre reactivos, el tiempo de reacción, entre otros.

## 6. Conclusión

La celulosa bacteriana ha demostrado ser un material versátil y prometedor en diversas aplicaciones, abordando desafíos ambientales y ofreciendo soluciones innovadoras. Su capacidad para adsorber colorantes en aguas residuales, mejorar la eficiencia de separación agua/aceite y actuar como matriz para compuestos antimicrobianos subraya su utilidad en el tratamiento de efluentes y la purificación de agua. Además, la integración de la celulosa bacteriana en películas y recubrimientos biodegradables destaca su potencial en envases sostenibles y aplicaciones biomédicas. Por otra parte, es crucial abordar desafíos como la optimización de procesos de

producción y la mejora de propiedades específicas para impulsar aún más su adopción en diversos sectores.

### Agradecimientos

Esta publicación es parte del proyecto PID2020-114070RB-I00 (CELLECOPROD), fundado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033. La autora principal, G. Durango, agradece a la Universitat Politècnica de Catalunya la financiación de su tesis doctoral mediante la beca FPU-UPC. Los autores también quieren agradecer al grupo de consolidación AGAUR 2021 SGR 00852.

### Referencias

- Brandes, R., Trindade, E. C. A., Vanin, D. F., Vargas, V. M. M., Carminatti, C. A., Al-Qureshi, H. A. et al. (2018). Spherical Bacterial Cellulose/TiO<sub>2</sub> Nanocomposite with Potential Application in Contaminants Removal from Wastewater by Photocatalysis. *Fibers and Polymers*, 19(9), 1861-1868. <https://doi.org/10.1007/s12221-018-7798-7>
- Costa, A. F. S., Almeida, F. C. G., Vinhas, G. M., & Sarubbo, L. A. (2017). Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* using corn steep liquor as nutrient sources. *Frontiers in Microbiology*, 8(OCT). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02027>
- Fernandes, I. de A. A., Pedro, A. C., Ribeiro, V. R., Bortolini, D. G., Ozaki, M. S. C., Maciel, G. M. et al. (2020). Bacterial cellulose: From production optimization to new applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 2598-2611). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.255>
- Jabłońska, J., Onyszko, M., Konopacki, M., Augustyniak, A., Rakoczy, R., & Mijowska, E. (2021). Fabrication of paper sheets coatings based on chitosan/bacterial nanocellulose/zno with enhanced antibacterial and mechanical properties. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(14). <https://doi.org/10.3390/ijms22147383>
- Lahiri, D., Nag, M., Dutta, B., Dey, A., Sarkar, T., Pati, S. et al. (2021). Bacterial cellulose: Production, characterization and application as antimicrobial agent. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijms222312984>

- Leal, A. N. R., De Lima, A. da C. A., Azevedo, M. G. F. dos A., Santos, D. K. D. do N., Zaidan, L. E. M. C., De Lima, V. F. et al. (2021). Removal of Remazol Black B dye using bacterial cellulose as an adsorbent. *Scientia Plena*, 17(3). <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2021.034201>
- Liao, W., Liu, X., Zhao, Q., Lu, Z., Feng, A., & Sun, X. (2023). Physicochemical, antibacterial and food preservation properties of active packaging films based on chitosan/ $\epsilon$ -polylysine-grafted bacterial cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127231>
- Pan, X., Li, J., Ma, N., Ma, X., & Gao, M. (2023). Bacterial cellulose hydrogel for sensors. *Chemical Engineering Journal*, 461. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.142062>
- Qian, H., Liu, J., Wang, X., Pei, W., Fu, C., Ma, M. et al. (2023). The state-of-the-art application of functional bacterial cellulose-based materials in biomedical fields. *Carbohydrate Polymers*, 300. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120252>
- Revin, V. V., Liyaskina, E. V., Parchaykina, M. V., Kuzmenko, T. P., Kurgaeva, I. V., Revin, V. D. et al. (2022). Bacterial Cellulose-Based Polymer Nanocomposites: A Review. *Polymers*, 14(21). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym14214670>
- Shrivastav, P., Pramanik, S., Vaidya, G., Abdelgawad, M. A., Ghoneim, M. M., Singh, A. et al. (2022). Bacterial cellulose as a potential biopolymer in biomedical applications: a state-of-the-art review. *Journal of Materials Chemistry B*, 10(17), 3199-3241. Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d1tb02709c>
- Than-ardna, B., Weder, C., & Manuspiya, H. (2023). Superhydrophilic bacterial cellulose membranes efficiently separate oil-in-water emulsions. *Journal of Materials Science*. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-08278-w>
- UI-Islam, M., Alhajaim, W., Fatima, A., Yasir, S., Kamal, T., Abbas, Y. et al. (2023). Development of low-cost bacterial cellulose-pomegranate peel extract-based antibacterial composite for potential biomedical applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 231. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123269>
- Wahid, F., Huang, L. H., Zhao, X. Q., Li, W. C., Wang, Y. Y., Jia, S. R. et al. (2021). Bacterial cellulose and its potential for biomedical applications. *Biotechnology Advances*, 53. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107856>
- Wahid, F., Zhao, X. Q., Cui, J. X., Wang, Y. Y., Wang, F. P., Jia, S. R. et al. (2022). Fabrication of bacterial cellulose with TiO<sub>2</sub>-ZnO nanocomposites as a multifunctional membrane for water remediation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 620, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2022.03.108>

- Zeng, A., Yang, R., Tong, Y., & Zhao, W. (2023). Functional bacterial cellulose nanofibrils with silver nanoparticles and its antibacterial application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123739>
- Zhou, L., Fu, J., Bian, L., Chang, T., & Zhang, C. (2022). Preparation of a novel curdlan/bacterial cellulose/cinnamon essential oil blending film for food packaging application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 212, 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.137>