

## **POTENCIALIDAD DE LA CELULOSA BACTERIANA COMO PROTECCIÓN DE REVESTIMIENTOS EN CONSTRUCCIÓN**

**CARUSO, Susana Inés**<sup>(1)</sup>; **BECERRA ARANEDA, Abraham**

**Alexis**<sup>(1)(2)(3)</sup>

Tutora Proyecto PIA TRP 17: YAJNES, Marta Edith<sup>(1)</sup>

[arqs1@yahoo.com.ar](mailto:arqs1@yahoo.com.ar); [abecerra@cnea.gov.ar](mailto:abecerra@cnea.gov.ar)

<sup>(1)</sup> CEP ATAE UBA FADU; <sup>(2)</sup> IA UNSAM; <sup>(3)</sup> CNEA

### **Resumen**

El revestimiento interior de una vivienda puede convertirse en una fuente importante de emisiones tóxicas para sus habitantes. Según la Organización Mundial de la Salud, el riesgo de contraer algún tipo de cáncer aumentó entre 20 y 40% debido al empleo de pinturas sintéticas para revestimiento. Estas pinturas contienen sustancias tóxicas para la salud humana tales como: metales pesados y compuestos orgánicos volátiles. Estos últimos pueden ser liberados durante años luego de aplicar la pintura. A pesar de la variada oferta de pinturas “naturales” o “eco”, ellas aún contienen bajas cantidades de compuestos volátiles o sustancias sintéticas que emiten elevadas cantidades de CO<sub>2</sub> durante su fabricación. Recientemente, han aparecido varios revestimientos basados en materias primas naturales de nulo impacto para la salud, pero aún están en fase de desarrollo. En esa línea, los autores de este trabajo han observado que la celulosa sintetizada por bacterias, o celulosa bacteriana (CB), podría convertirse en una potencial alternativa como componente o tratamiento protector para revestimientos sostenibles. Este tipo de celulosa es biodegradable y requiere un mínimo consumo energético para su fabricación. Actualmente, la CB está siendo utilizada en microbiología y biotecnología debido a su biocompatibilidad, no toxicidad y buen comportamiento mecánico. Existen varios

procedimientos de fabricación para la CB, con diversos medios y especies bacterianas, pero aún no existen metodologías de producción masiva. La CB ha mostrado buena resistencia a la intemperie y elevada adherencia sobre diferentes tipos de superficies. Además, su estructura porosa permite transmitir la humedad desde o hacia un ambiente, minimizando así la posibilidad de patologías que se asocian habitualmente a revestimientos impermeables. Con la finalidad de explorar las potencialidades de la CB, para la construcción, este trabajo que se desarrolla dentro de un Proyecto SI PIA sobre hormigones con fibras naturales, presenta una revisión de sus propiedades relevantes y explora la normativa vigente para evaluar su uso como terminación y protección de revestimientos porosos y como componente en las mezclas. Con esta revisión, se elaborará además un procedimiento para incorporar la CB a revestimientos interiores dentro de un sistema constructivo sostenible. Se espera que las herramientas y procedimientos obtenidos a través de nuestras prácticas, se conviertan en un aporte para el desarrollo de conocimiento en esta temática relacionada con la salud de los espacios que habitamos.

### **Palabras clave**

Celulosa Bacteriana, Revestimiento Sostenible, Biodegradable, Herramientas y Procedimientos, Desarrollo de Conocimiento

### **Antecedentes de la investigación**

El Proyecto de investigación, en desarrollo desde el año 2013, dentro del cual se inserta este trabajo, tiene como objetivos principales contribuir al aprovechamiento de los Residuos de Construcción y Demolición, Residuos Sólidos Urbanos y Residuos Industriales No Peligrosos, a la reducción del uso de cemento y del impacto ambiental producido por la fabricación tradicional de bloques, ladrillos y revestimientos, creando materiales constructivos con recursos no aprovechados, para ser empleados en proyectos de autoconstrucción, vivienda social y generación de empleo. Este Proyecto

participa de un UBACyT dirigido a aplicar productos desarrollados en la universidad pública, fabricando materiales que mejoren las condiciones habitacionales de poblaciones vulnerables, haciendo foco en el partido de San Martín para la utilización de los Residuos generados dentro de su área industrial, en colaboración con la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM).

Hasta el momento se han fabricado con papel cemento (PC): bloques, ladrillos, placas para pared con propiedades de aislación térmica y acústica, varios modelos de módulos para dividir ambientes, un sistema de módulos para difusión acústica y diversos objetos de Diseño y Equipamiento.

Se han realizado ensayos en el INTI para propagación de llama, densidad óptica de humos, resistencia a la compresión y conductividad térmica, todos ellos con resultados satisfactorios, a saber:

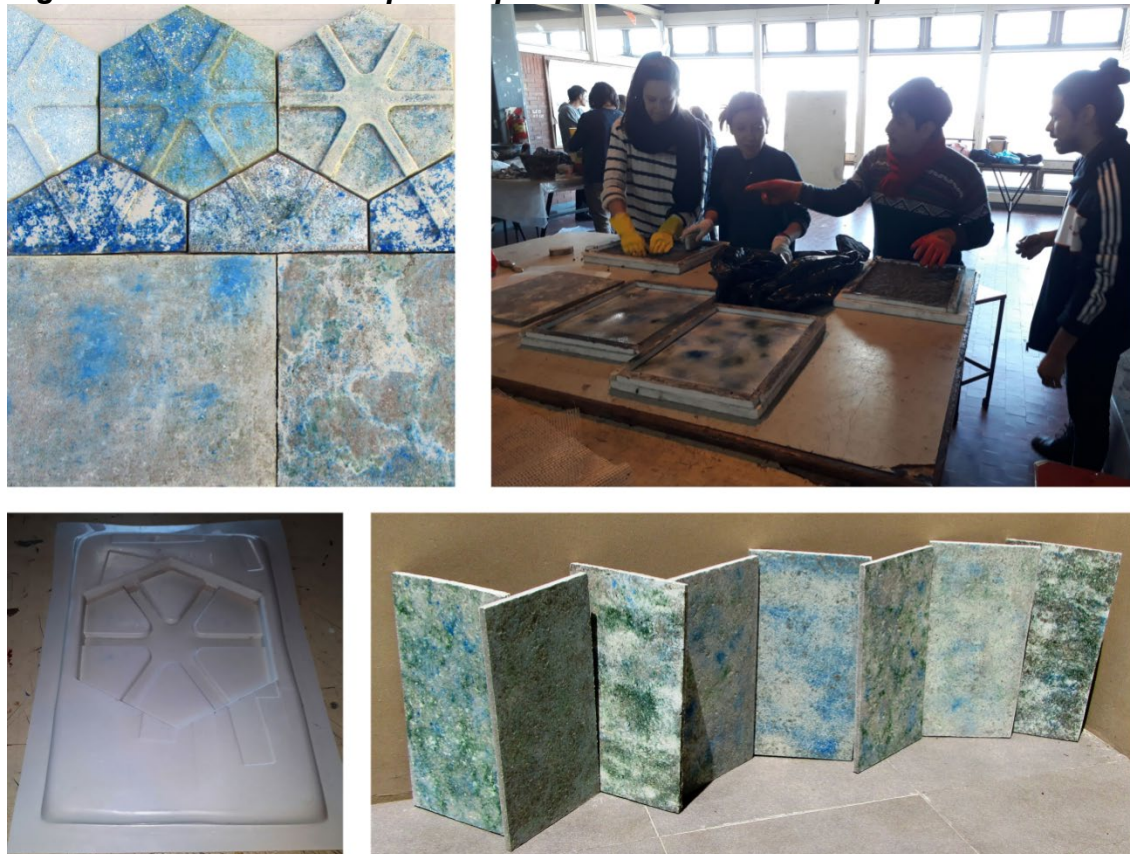
- Ensayos de Fuego en PC de 980 kg/m<sup>3</sup> de densidad: a) Propagación de Llama según Norma IRAM 11910-1994 para Materiales de construcción, reacción al fuego, determinación del índice de propagación de llama por método de panel radiante, Norma NBR 9442:1986 y ASTM E162:1994. b) Densidad Óptica de Humos, Norma IRAM 11912:1995, la norma coincide con la ASTM E662.
- Compresión Simple y Deformación Plástica: en PC de 980 kg/m<sup>3</sup> de densidad, carga de rotura promedio 2,5 Mpa, valor mínimo de la Norma IRAM 11561-4:1997 para bloques no portantes.
- Resistencia a la Compresión en probetas con un 15% más de cemento, 2,90 Mpa.
- Conductividad Térmica: Para la fórmula de 970 kg/m<sup>3</sup>, 0,23W/mK, según Norma IRAM 11601:2002, resultando el PC más eficiente que materiales de similar densidad como Placas de Yeso, Hormigón normal con escoria de alto horno, Hormigón de arcilla expandida, Hormigón celular, Hormigón con poliestireno expandido, Fibrocemento y algunos tipos de Madera.
- Permeabilidad al vapor de Agua: Para la fórmula de 980 kg/m<sup>3</sup>,  $(3,2 \pm 0,3)10^{-2}$  g/m.h.kPa, según Norma IRAM 1735, resultando una Permeabilidad similar a maderas de densidad media según Norma IRAM 11601:2002.

Como parte de la investigación teórica, se hizo foco en el problema de la excesiva cantidad de plásticos empleados para múltiples fines que está invadiendo el ambiente a niveles nunca antes alcanzados. Se ha demostrado que los fragmentos de plásticos acumulan compuestos químicos tóxicos, transportando contaminantes a los mares.

Por otro lado, es necesario considerar que se generan grandes cantidades de residuos orgánicos a escala mundial debido al crecimiento poblacional e industrial, que no reciben un tratamiento adecuado, lo que también produce impactos en el ambiente y riesgos para la salud. Esta circunstancia es la que motiva el uso del concepto de Economía Circular para la fabricación de materiales de Construcción con Residuos en nuestro Centro.

Para cubrir la necesidad de aditivos en mezclas y sustancias para recubrimiento y protección más inocuos, se comenzó a estudiar el uso de bioplásticos, preferentemente aquellos elaborados con residuos (industria alimenticia, restos de podas y cultivos, desechos domiciliarios, etc.). Es así que, en una acotada investigación aplicada en principio a materiales de PC y/o fibras naturales, se ha recabado información sobre estos bioplásticos. Entre las variables investigadas se tomaron en cuenta las posibilidades de la CB. Luego de búsquedas bibliográficas y de la asistencia a un taller experimental sobre su fabricación, se comenzó a probar la aplicación de membranas de CB a muestras de PC.

**Figura 1: Fabricación de placas para revestimiento en Papel Cemento**



Fuente: elaboración propia

Durante el año lectivo 2019, los pasantes fabricaron en la FADU UBA, las placas para pared de PC destinadas al revestimiento interior de un merendero situado dentro de los límites de la UNSAM (Fig.1).

Con la misma fórmula se fabricaron las muestras que sirvieron de base para el ensayo de aplicación del recubrimiento elaborado con CB. Se espera en un futuro próximo poder aplicar el recubrimiento a varios productos que se fabrican

en nuestro Centro, contribuyendo a la evolución hacia materiales más sostenibles.

Es de destacar el desarrollo de máquinas, herramientas simples y moldes de diseño propio que se logró con el valioso aporte de los pasantes, quienes contribuyeron con su trabajo al avance de esta investigación.

### **Hipótesis de la Investigación**

Es posible desarrollar un recubrimiento natural a partir de Celulosa Bacteriana (CB) para revestimientos de PC, en forma de membrana, barniz o pintura, que no ocasione problemas de salud como ocurre con pinturas y barnices sintéticos, evitando los efectos de sustancias tóxicas tales como metales pesados y compuestos orgánicos volátiles, tanto en sus etapas de fabricación como en las de aplicación y uso.

### **Objetivos de la Investigación**

#### *Objetivos generales*

Desarrollar un recubrimiento natural que sea atóxico, biodegradable y de sencillo uso para aplicar a revestimientos de PC, más sostenible en sus etapas de obtención de materias primas y fabricación y que no ocasione problemas de salud en ninguna de las etapas de su Ciclo de Vida (CV), de bajo costo y fácilmente apropiable tanto por la industria tradicional como por pequeñas industrias y cooperativas, contribuyendo a la creación de empleos verdes

#### *Objetivos específicos*

- 1 - Elaborar recubrimientos de CB en 2 presentaciones:
  - a) En forma de membrana o película
  - b) En forma líquida, como barniz o pintura
- 2 - Perfeccionar los métodos de obtención y fabricación
- 3 - Perfeccionar los métodos de aplicación del recubrimiento en todas sus variantes.

### **Caracterización del problema a abordar**

La calidad del aire interior (CAI) de una edificación influye en la aparición de enfermedades asociadas a exposiciones ambientales. (Sundell, 2004, pp: 51-58). La CAI ha cobrado mucha relevancia hoy en día debido al confinamiento forzado por la pandemia debida al COVID19 y al hecho de que el aire interior

suele estar más contaminado que el aire exterior. Una de las estrategias para mejorar la CAI se basa en mejorar la selección de materiales a fin de minimizar la emisión de sustancias tóxicas. Los materiales de construcción durante su vida útil producen emisiones primarias y secundarias que son agresivas para la salud humana y ambiental. Estas emisiones surgen desde el material (primarias) y por reacciones químicas en el material o en el aire interior (secundarias).

Para disminuir la cantidad de productos que emiten sustancias tóxicas, el International Living Future Institute (ILFI) desarrolló una lista actualizable de sustancias tóxicas, que cuenta con alrededor de 3400 materiales químicos individuales. El ILFI está a cargo de administrar el estándar de calificación de construcción sustentable Living Building Challenge (LBC). Dentro de la lista de sustancias tóxicas, denominada *Red List* (ILFI, en línea), aparecen compuestos de pinturas, adhesivos y selladores muy usados hoy en día en la Argentina. Entre estos compuestos están los orgánicos volátiles (VOC), que también son indicadas como nocivos por otros estándares de calificación (LEED, BREEAM, G-SEED, entre otros). Hay mucho interés en el mercado por eliminar los productos que contienen VOC debido sus varios efectos agresivos sobre el sistema respiratorio humano y animal (EPA, en línea).

Mediante este trabajo se pretende realizar un aporte a la obtención de revestimientos interiores con nulas o reducidas emisiones contaminantes, considerando también que futuras investigaciones podrían desarrollar una metodología para incluir componentes dentro de la CB con la capacidad de mejorar la CAI en edificios, como se menciona más adelante en el apartado *Fuentes y formas de obtención*.

### **Qué es la Celulosa Bacteriana**

La celulosa es el polímero orgánico más abundante en la naturaleza y puede ser considerada una fuente casi inagotable de materia prima para la actual demanda de productos sostenibles.

La CB es Según Pineda et al (2012, pp: 307-335):

(...) un biopolímero insoluble en agua, obtenido por fermentación con microorganismos de los géneros *Acetobacter*, *Rhizobium*, *Agrobacterium* y *Sarcina*, de las cuales la especie más eficiente es la *Acetobacter Xylinum*. Este polímero presenta la misma estructura química de la celulosa de origen vegetal, pero difiere en su conformación y propiedades fisicoquímicas, lo que lo hace atractivo para diversas aplicaciones, especialmente en las áreas de alimentos, procesos de separación, catálisis y en medicina, gracias a su biocompatibilidad.

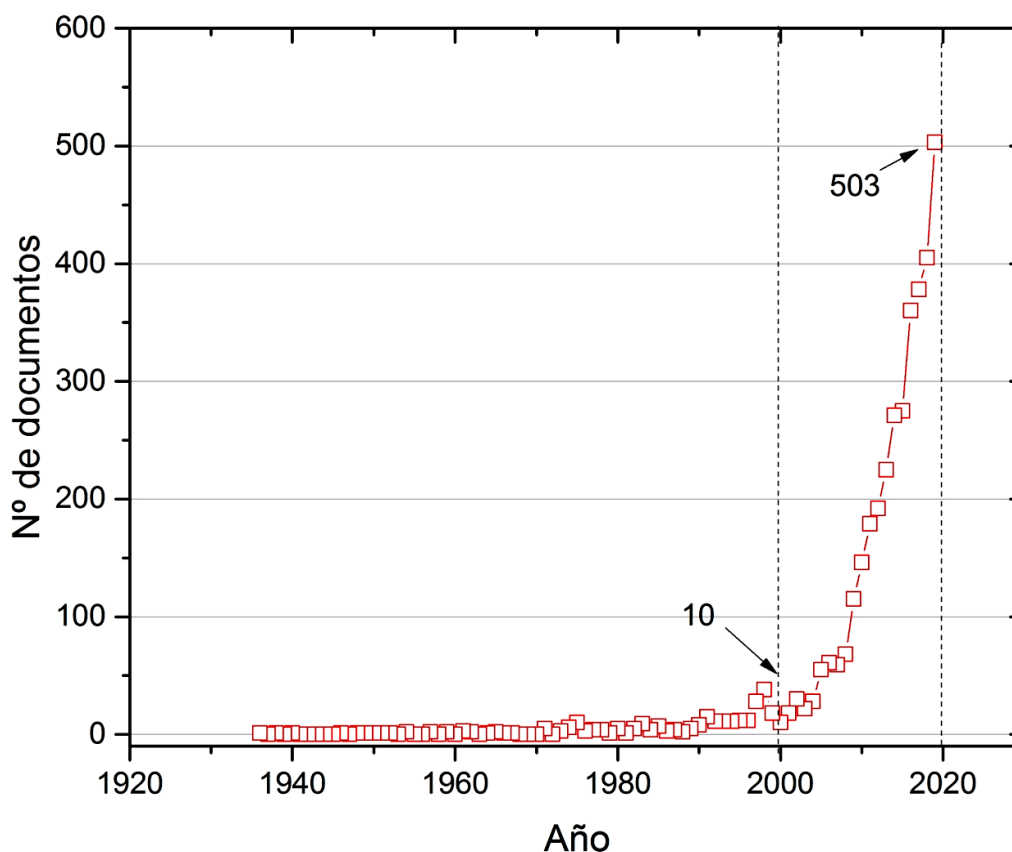
(...) La mayor parte de la celulosa utilizada en la industria es de origen vegetal, que se encuentra asociada a lignina y hemicelulosa; sin embargo, en los últimos veinte años la celulosa de origen bacteriano ha tomado

importancia debido a sus propiedades mecánicas, de pureza y alto grado de cristalinidad, entre otras, que la hacen atractiva para aplicaciones específicas.

Si bien los primeros estudios de la CB parecen surgir en 1931, recién a inicios del siglo XXI el interés por este material aumenta exponencialmente, tal como muestra la Tabla 1

El desarrollo de nuevas tecnologías junto con el creciente interés en el desarrollo de materiales sostenibles impulsan el estudio de la CB para diversas aplicaciones.

**Tabla 1: Evolución de la cantidad de documentos que utilizan las palabras Bacterial Cellulose en su resumen, según base de datos Scopus.**



Fuente: elaboración propia

La CB posee las siguientes propiedades (Guinea Nava, 2016, pp: 12-18):

- Alto grado de cristalinidad
- Mayor área de superficie que la pulpa de madera convencional
- Densidad de hoja de 300 a 900 kg·m<sup>-3</sup>
- Alta resistencia a la tracción

- Alta absorbencia
- Alta elasticidad y durabilidad
- No-tóxico
- Inactividad metabólica
- Biocompatibilidad
- Susceptible a la degradación
- Gran retención de forma
- Fácil adaptación a las propiedades fisicoquímicas

### **Algunas aplicaciones actuales de la Celulosa Bacteriana**

En la última década aparecieron productos en el mercado que surgen de un crecimiento celular, tal como ocurre con la CB. El desarrollo de estos biocompuestos está en línea con el concepto de Diseño en crecimiento (Growing Design), que se refiere al cultivo y desarrollo de materiales a partir de organismos vivos (Karana et al, 2018, pp: 119-136). El enfoque Growing Design se originó gracias a los avances en biotecnología que se desarrollaron inicialmente para la fabricación de tejidos biológicos.

Estas materias primas son más favorables desde el punto de vista ambiental ya que evitan la presión sobre la agricultura para producir cultivos específicos, con los consiguientes problemas asociados con el uso del suelo, los conflictos con los mercados de alimentos y la pérdida de la biodiversidad, que son los problemas más importantes asociados con la producción de biocombustibles (Area et al, 2016, pp: 120-151).

A modo de ejemplo de productos que pueden ser fabricados a partir de CB citamos:

a) la investigación sobre nanocompuestos de polímero de celulosa y plata para telas antibacterianas y andamios para piel, que ha desarrollado una fibra de celulosa antimicrobiana eficiente, no tóxica, duradera y rentable con aplicaciones en el campo médico. Los carbohidratos disponibles de forma natural se utilizaron para la reducción de plata. iones a nanopartículas de plata. Este proceso se realiza a una temperatura de 27 ° C y es respetuoso con el medio ambiente (Raghavendra et al 2013, pp: 553-560).

b) La celulosa bacteriana producida por algunas bacterias, entre ellas *Gluconacetobacter xylinum*, que secreta abundantes redes 3D de fibrillas, representa un interesante nanomaterial biocompatible emergente. Desde su descubrimiento, ha demostrado un enorme potencial en una amplia gama de aplicaciones biomédicas, como piel artificial, vasos sanguíneos artificiales y microvasos y apósitos para heridas, entre otros. Puede manipularse fácilmente para mejorar sus propiedades y / o funcionalidades, dando como resultado



varios nanocompuestos basados en CB. (de Oliveira Barud, et al, 2016, pp: 406-420).

c) Según Torgbo & Sukyai, 2018, pp: 34-49), respecto al uso de CB como andamio para reparar una fractura ósea, la idea es utilizar una estructura temporal no tóxica que alentará a las células de construcción ósea a ingresar y trabajar, mientras que finalmente se biodegrada sin causar daño. El andamio debe tener una estructura porosa o similar a un gel que también permita que el oxígeno y los nutrientes penetren a través de él para apoyar el crecimiento celular, al tiempo que permite que la sangre elimine los desechos bioquímicos.

#### *Fuentes y formas de obtención*

El método de cultivo con biorreactores hasta ahora es el único método que permite llevar la producción de CB hasta una escala industrial, sin embargo, aún está en etapa de desarrollo.

La CB producida por biorreactor se podría utilizar para fabricar papel de alta calidad, apósitos para heridas, partes estructurales y no estructurales para autos, infraestructura eólica, marina y civil, entre muchas otras (Wang et al, 2019, pp: 63-76).

Las principales rutas de fabricación para cultivo de CB incluyen: métodos estáticos, métodos con agitación y métodos que utilizan biorreactores. Con estos métodos se obtienen CB de diferente morfología micro y macroscópica, microestructura y propiedades. Además del método, las propiedades de la CB varían dependiendo de las condiciones ambientales de cultivo, tales como el tipo de cepa de bacterias, la nutrición, el contenido de oxígeno suministrado y el pH de la solución. La cepa de bacterias es relevante porque define la velocidad máxima de producción de CB. Varios estudios coinciden en que la bacteria aerobia *Acetobacter Xylinum* (o *Gluconacetobacter Xylinum*) es la más eficiente en producir BC, a través de la transformación de glucosa y otros sustratos orgánicos. Una de estas bacterias puede llegar a convertir 108 g por hora de moléculas de glucosa en CB. (Pourramezan et al, 2019, pp: 150–154). Los primeros medios de cultivo de CB, compuestos de glucosa, peptona, extracto de levadura, fosfato disódico, ácido cítrico y pH 6 poseían una baja productividad de CB. Sin embargo, esta producción se volvió más eficiente luego de modificar las fuentes de carbono y de nitrógeno y el pH. Las cepas bacterianas para fabricar CB se nutren esencialmente de glucosa y ácido acético, que luego convierten en ácido de glucosa. La dosificación de estas dos sustancias es importante para mantener un pH óptimo para la fabricación de CB. Si el contenido de glucosa es mucho mayor al de ácido acético, la CB convierte el exceso de glucosa en ácido glucónico, lo que acidifica el medio de cultivo. Si el pH es menor a 4, la formación de CB no es posible y el proceso de síntesis se detiene.

Recientemente, la nutrición de las cepas bacterianas que fabrican CB se ha realizado con fuentes basadas en desechos industriales y agrícolas. Con esto

se busca reducir los costos de producción de CB y disminuir el impacto ambiental del proceso de fabricación. (Wang et al, 2019, pp: 63-76). Esto concuerda con el objetivo de nuestra investigación respecto a la utilización de dichos residuos. Los medios de cultivo con estas fuentes mostraron adicionalmente en ciertas ocasiones, aumento de la producción de CB debido a la cantidad de micro y macro nutrientes presentes en los desechos (Cacicedo, 2016, pp: 172-180).

El método empleado en esta investigación es el estático, por su sencillez y economía de implementación y por la eficiencia en la producción de membranas de CB, no necesitando una inversión inicial en equipamiento ni capacitación en técnicas complejas. Es un método fácilmente apropiable tanto para investigadores como para pequeñas industrias o cooperativas.

El método de cultivo estático permite fabricar películas de CB de espesor constante, que pueden crecer sobre diversas geometrías y superficies. Este método es uno de los más usados y estudiados a escala laboratorio, debido a su simplicidad comparado a los métodos con agitación y los que utilizan biorreactores (Wang et al, 2019, pp: 63-76).

Durante la fabricación de CB con el método estático, la solución de cultivo se mantiene dentro de un recipiente desde 1 a 14 días a temperaturas entre 28 y 30 °C. Si el pH de esta solución siempre se mantiene dentro del rango óptimo (entre 4 y 7), la CB resultante corresponde a una lámina de hidrogel con buen rendimiento mecánico. Un hidrogel es una red tridimensional de cadenas flexibles formadas por elementos que se hinchan al estar en contacto con un líquido. Durante el método estático, la película de CB se forma en la interfaz gas-líquido de la solución nutritiva. En esta interfaz se genera dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que es atrapado por el metabolismo bacteriano, es decir, la CB consume CO<sub>2</sub> durante el desarrollo de la película. La producción de CB en el método estático se relaciona directamente con el área de la superficie expuesta de la solución nutritiva, debido a que la CB se forma a partir de ella. La película de CB aumenta su grosor, y su entrecruzamiento de subfibrillas de celulosa, a medida que el tiempo de cultivo incrementa. Luego de 14 días, la película de CB muestra espesores cercanos a 16 mm (Wang et al, 2019, pp: 63-76).

La producción de CB en condiciones agitadas posee inconvenientes relacionados con la inestabilidad genética de la cepa bacteriana y la aparición de compuestos no celulósicos. Estos dos factores reducen la productividad de CB y su rendimiento cuando se agita la solución.

La principal diferencia entre la CB obtenida por métodos estáticos y con agitación se refiere a su morfología. Con métodos estáticos se obtienen láminas, en cambio, con agitación se forman esferas de CB que producen láminas porosas de alta área superficial. Varios trabajos muestran que la CB obtenida con agitación posee menor resistencia mecánica, menor grado de cristalinidad y mayor heterogeneidad que la obtenida por método estático. Por estos motivos, la CB fabricada con métodos estáticos podría tener una mayor potencial para aplicaciones en revestimientos, donde se requiere un mínimo de

rendimiento mecánico y una estructura homogénea, que es lo que estamos tratando de lograr en esta instancia.

Sin embargo, utilizando el método con agitación, se ha producido CB que contiene partículas de óxidos metálicos, que han mostrado ser útiles para absorber iones de metales pesados tales como  $Pb^{2+}$ ,  $Cr^{+3}$  y  $Mn^{+2}$ . Es sabido que estos iones perjudiciales pueden provenir de productos como baterías, teléfonos celulares y luces, y que son fuente de deterioro de la calidad del aire interior (CAI) (Jha K et al, 2020, pp: 203-210).

Futuras investigaciones podrían entonces abordar la posibilidad de desarrollar también una metodología estática para fabricar revestimientos de CB que incluyan óxidos metálicos, a fin de mejorar la CAI en edificios.

Es importante señalar que luego de la fabricación de CB por los métodos descriptos, no se requieren procesos de eliminación de impurezas o fases adicionales, tal como ocurre con la celulosa vegetal donde es necesario eliminar lignina, pectina y hemicelulosa. Esto se debe a la alta pureza de la CB, que posee más del 99% en peso de celulosa.

Por lo detallado anteriormente se puede deducir que el método estático es el más viable para fabricar CB utilizable como recubrimiento de materiales porque permite controlar el grosor de la lámina de CB durante todo su crecimiento.

Con el método estático se obtienen las mejores propiedades de CB en comparación con los otros métodos de cultivo.

### **Posibilidades del uso de la celulosa bacteriana en Construcción**

Las aplicaciones del producto de CB dependen del método de cultivo utilizado, debido a las diferentes características de CB que se obtienen con cada uno de ellos. La CB puede aplicarse como un polímero renovable natural en muchas industrias, tales como: alimenticia (envasado de alimentos, revestimiento transparente); médica (biomateriales, vasos sanguíneos y tejidos artificiales), entre otras.

Como ejemplos citamos:

a) la investigación sobre nanocompuestos de polímero de celulosa y plata para telas antibacterianas y andamios para piel, que ha desarrollado una fibra de celulosa antimicrobiana eficiente, no tóxica y duradera con aplicaciones en el campo médico. Los carbohidratos disponibles de forma natural se utilizaron para la reducción de plata. iones a nanopartículas de plata. Este proceso se realiza a una temperatura ambiente de  $27^{\circ}C$  y es respetuoso con el medio ambiente.

Si bien la CB se utiliza principalmente para aplicaciones médicas, hoy existe un creciente interés para implementar este material en la construcción. Estudios de caracterización muestran que los aerogeles de CB poseen densidades desde 67 hasta  $83\text{ kg/m}^3$  (Liebner et al, 2010, pp: 349-352) y conductividad térmica de  $0,00295\text{ W/mK}$  (Sai et al, 2014, pp: 30453-30461). Estos valores están dentro del rango mostrado por varios aislantes de construcción. La CB es

más porosa que la celulosa de origen vegetal un conocido material utilizado para aislación.

La CB posee características que las convierten en una opción viable para su uso como elemento de aislación y recubrimiento en edificios. Además, la CB posee mayor grado de polimerización, resistencia mecánica y cristalinidad que la celulosa vegetal (Wang et al, 2019, pp: 63-76).

Estas tres características sugieren que un recubrimiento de CB podría tener mayor resistencia al rayado, al desgaste y al impacto comparado a muchas pinturas sintéticas y materiales aislantes.

Para disminuir la afinidad de la CB por el agua, propiedad no deseable en un revestimiento, se han utilizado agentes de recubrimiento hidrófobo.

Avila Ramirez et al (2018, pp: 4-9), abordan así el tema:

La nanocelulosa bacteriana (BNC) por sus excelentes propiedades mecánicas, alta relación superficie/volumen, biodegradabilidad y pureza, resulta de interés para aplicaciones como refuerzo de matrices poliméricas. Sin embargo, la hidrofiliidad de las nanofibras de celulosa limita su uso como refuerzo de matrices hidrofóbicas, como, por ejemplo, el ácido poliláctico (PLA). Con el objetivo de mejorar la compatibilidad entre el refuerzo y la matriz y promover la adecuada dispersión de las nanofibras en el PLA, se estudió la esterificación de la superficie de las nanofibras de celulosa bacteriana implementando una ruta no convencional catalizada por  $\alpha$ -hidroxiácidos (ácidos láctico, tartárico y cítrico) de origen natural. Como acilante se utilizó anhídrido acético y se operó sin cosolventes agregados. La obtención de la BNC se llevó a cabo en cultivo estático usando una cepa de *Gluconacetobacter Xylinus* y desechos agroindustriales como fuente de carbono.

Los ésteres son compuestos orgánicos que presentan un componente de ácido carboxílico y otro de alcohol. Dan sabor y olor a muchas frutas y son los constituyentes mayoritarios de las ceras animales y vegetales (Ecured, en línea)

## **Metodología**

Se completaron hasta el momento las siguientes instancias:

- Asistencia a una capacitación sobre elaboración de CB en forma artesanal a partir de un cultivo de *Acetobacter* proporcionado por los capacitadores <sup>1</sup>, azúcar y té de kombucha.
- Consulta de Bibliografía específica
- Elaboración de membranas de CB por el método estático en 2 espesores diferentes

---

<sup>1</sup> Diseñadora Textil Emilce Cesarini y Lic. en Biología Pablo Rodríguez

- Aplicación de membranas a muestras de PC
- Prueba de resistencia a la Intemperie y Agentes Biológicos
- Prueba de resistencia al rayado

Instancias a completar:

- Se continuará con los ensayos experimentales de aplicación de compuestos de CB sobre placas y otros materiales de PC.
- Se realizarán en el INTI, dependiendo del Presupuesto disponible, los ensayos marcados en **negrita** en la Tabla 2.

### **Ensayos y Resultados Preliminares de la Investigación**

Elaboración de la membrana. Fórmula del cultivo y Procedimiento

Se preparó un cultivo con :

- 450 cm<sup>3</sup> de agua, la mitad de ese volumen se calentó hasta los 80° y se mezcló con la mitad de agua fría para facilitar la disolución del azúcar.
- 25 g de azúcar blanca
- 1 1/2 cucharada de té verde
- 50 g de cultivo de acetobacter
- 1 trozo de membrana de acetobacter previamente cultivada, de aproximadamente 60 mm x 30 mm x 3 mm, aportada por los capacitadores

Este cultivo (Fig. 2 a) se estacionó en un ambiente sin corrientes de aire ni contacto con la luz solar, tapado por un papel. Con una temperatura ambiente oscilando entre los 25° y los 30°, en una semana se formó una película de 15 cm x 11 cm, con 3 mm de espesor (Fig. 2 b).

Existe la posibilidad de lograr una película más espesa superponiendo varias capas, de membrana, ya que tienen la particularidad de unirse entre sí.

Luego de enjuagarla con agua corriente, se aplicó esta membrana a una placa de PC limpia y seca, con diseños pintados con pintura acrílica, estos diseños se transparentan a través de la membrana (Fig. 2 c). Se adhirió a la placa sin ninguna dificultad (Fig. 2 d).

Transcurrida una semana, la membrana estaba seca al tacto y firmemente adherida. Un mes después la película se oscureció y al ser sometida a rayaduras con un clavo, se pudo comprobar que es muy resistente a las mismas.

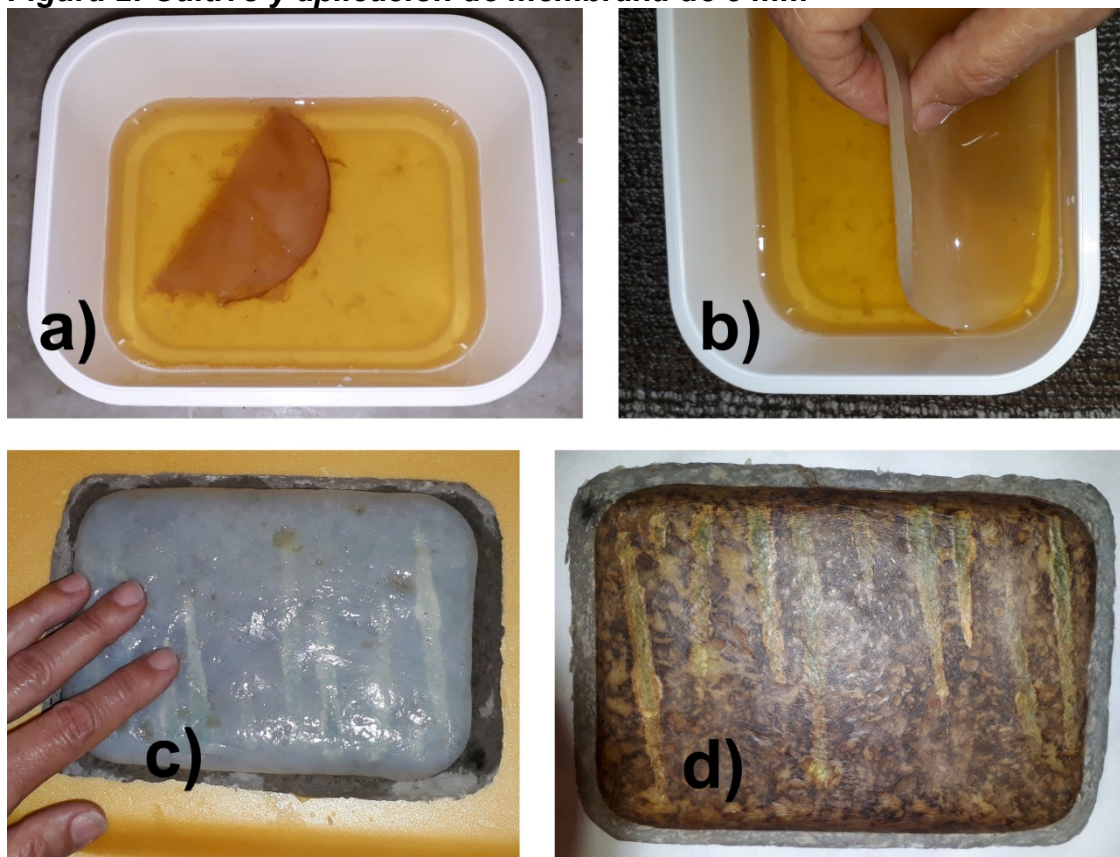
Al retirarse esta membrana del recipiente de cultivo para su uso, se volvió a cubrir con papel el líquido remanente junto al trozo de membrana cultivada original y luego de un mes se obtuvo una segunda membrana, esta vez de 6 mm de espesor (Fig. 3 e).

Al cortar en mitades la membrana con un cuchillo serrucho, la consistencia fue similar a la de un trozo de carne vacuna (Fig.3 f).

Una mitad se usó para recubrir una placa de PC de 9 cm x 8 cm x 1 cm (Fig. 3 g). La membrana se dejó deslizar hacia los lados para evaluar su capacidad cubritiva y adherencia lateral, resultando ambas satisfactorias.

Un mes después la membrana estaba oscura y perfectamente adherida, tanto a la superficie como a los costados de la placa, hasta donde llegó a cubrir (Fig. h).

**Figura 2: Cultivo y aplicación de membrana de 3 mm**



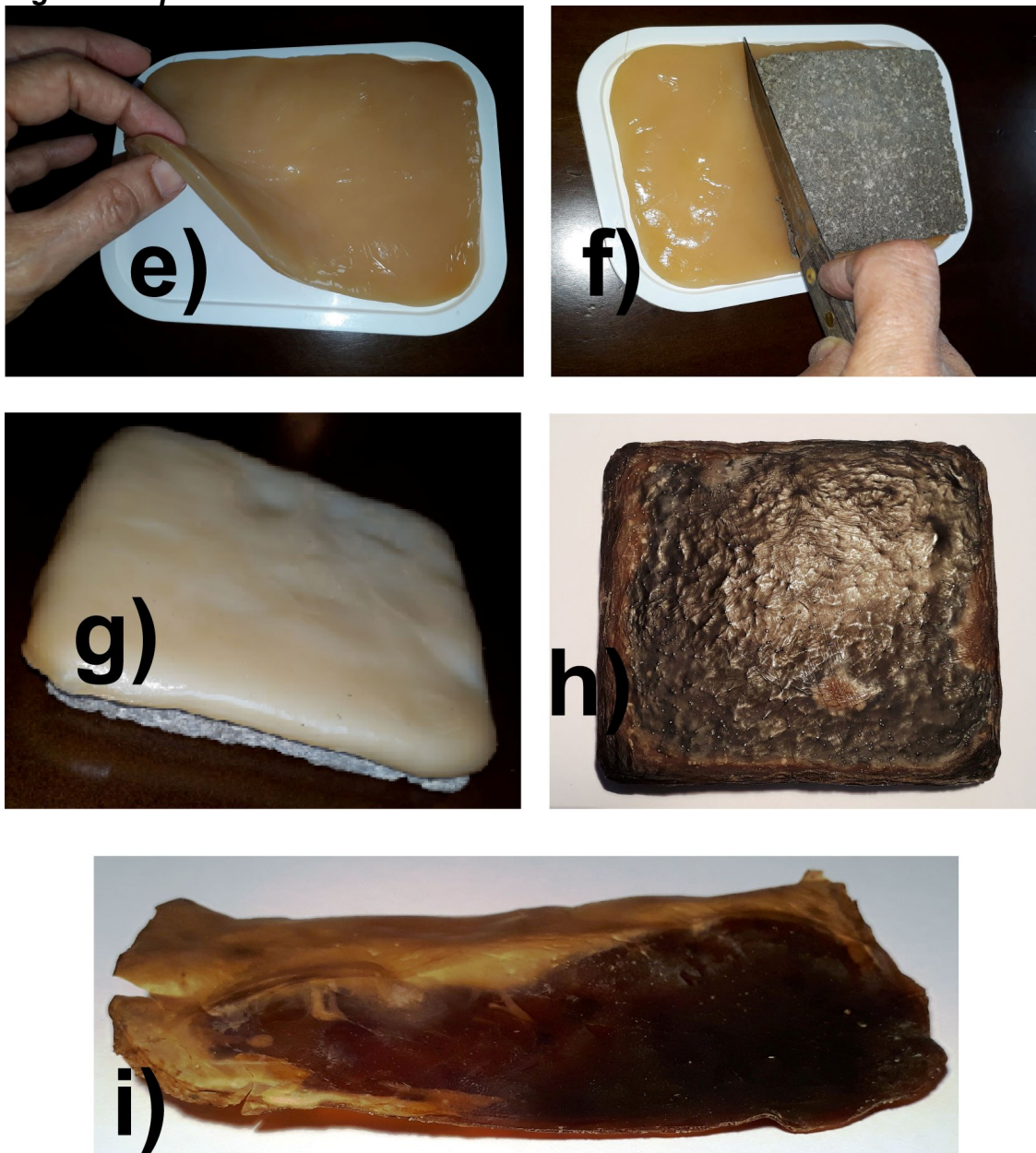
Fuente: elaboración propia

La otra mitad se dejó al exterior, orientación NO, para evaluar su resistencia a la intemperie y agentes biológicos, desde el 04/12/2019 hasta el 19/02/2020 (2 meses y medio).

A pesar de soportar calor, sol y lluvia, la muestra no se deshizo ni sufrió deterioro por agentes biológicos. Sin embargo, su espesor se redujo de 6 mm a 1/2 mm, quedando con una consistencia similar a la de un papel muy resistente (Fig. 3 i).

En cuanto a la membrana de 3 mm de espesor de la primera prueba, al intentar despegarla de la placa transcurridos 6 meses desde su aplicación, se despegó levemente por el borde.

**Figura 3: Aplicación de membrana de 6 mm**



Fuente: elaboración propia

Esto nos da un primer indicio de que el espesor necesario de la membrana para poder obtener un recubrimiento satisfactorio en placas de PC y que además presenten un buen nivel de adherencia, es de 6 mm.

## **Homologación de un producto para construcción basado en CB**

A pesar de las varias potencialidades de los biomateriales para su uso en construcción, estos aún requieren más desarrollo para su inmersión y aceptación en el mercado, pero es un hecho inevitable que en unas décadas estarán presentes en nuestro quehacer cotidiano.

Un material/producto/sistema es aceptado y comercializado en el mercado sólo si es capaz de mostrar el cumplimiento de una serie de requerimientos detallados en el sistema de normalización local. En Argentina existe el Certificado de Aptitud Técnica (CAT) para la homologación de nuevos materiales y sistemas constructivos, tradicionales y no tradicionales. El otorgamiento del CAT se rige por el Reglamento aprobado por la Resolución SVOA Nro. 288/90. En el CAT se indican una serie de ensayos a modo orientativo que deben ser satisfechas por el producto/sistema constructivo a homologar.

Con esta lista de ensayos se exige similar comportamiento técnico al material no tradicional comparado al material tradicional que reemplazaría. Un producto basado en CB cae dentro de la categoría no tradicional debido a lo novedoso y a la nula experiencia constructiva que se tiene sobre él hasta ahora. La Tabla 2 resume las normas más relevantes para un revestimiento de interior según el CAT y según otras normativas internacionales. Dentro del instructivo para tramitar el CAT, se muestran los laboratorios nacionales disponibles para realizar estos ensayos .

Para evaluar la degradación de un producto utilizado como recubrimiento de interior y aislación, son relevantes las siguientes propiedades: comportamiento frente al fuego, permeabilidad y retención de agua, composición química, estabilidad dimensional, adherencia y resistencia al rayado, al impacto y a la degradación biológica. Este último tipo de degradación es muy relevante para la CB considerando que está basada en fuentes naturales, que podrían sufrir daño según condiciones de humedad y temperatura. La capacidad de un material a la permeabilidad del vapor de agua se mide por la resistencia al vapor de agua ( $\mu$ ): cuanto menor es  $\mu$ , mayor es la permeabilidad. Conocer el valor de  $\mu$  es muy relevante para un revestimiento de CB debido a la hidrofiliidad y alta porosidad de la misma. El comportamiento frente al fuego se clasifica teniendo en cuenta el aumento de temperatura, la tasa de pérdida de masa, la liberación de calor, la producción de humo, entre otras variables. Los comportamientos mecánicos, de adherencia y de estabilidad dimensional son relevantes para prevenir el deterioro superficial y desprendimiento del revestimiento.



**Tabla 2: Propiedades físicas-químicas y térmicas relevantes para productos de revestimiento y aislación en construcción**

<b>Propiedad</b>	<b>Normativa</b>
Permeabilidad	BS 473, IRAM 681
<b>Adhesión al sustrato</b>	<b>ASTM D903, IRAM 1236</b>
<b>Envejecimiento acelerado en diferentes condiciones ambientales</b>	<b>ASTM D1171</b>
<b>Absorción de agua</b>	<b>ASTM D471, DIN 53428</b>
<b>Permeabilidad al vapor de agua</b>	<b>IRAM 1735, DIN 53122</b>
Calor específico	ASTM E1269
Conductividad térmica	ASTM C518
Transmitancia térmica	ASTM C177, ASTM C518, ISO 6946 IRAM 11601 (métodos de cálculo)
Resistencia al vapor de agua	IRAM 11625
Resistencia al fuego	IRAM 11950, IRAM 11951 IRAM 11955, IRAM 11949
<b>Reacción al fuego</b>	<b>IRAM 11910:1994, IRAM 11912:1995 NBR 9442/1986, DIN 4102-B1 ASTM E162:1994, ASTM E662</b>
Aislación acústica	IRAM 4044

Fuente: Elaboración propia

### **Relevancia de los aportes previstos**

- El tema es “relevante” porque se orienta a la fabricación de materiales constructivos que no dañen el planeta, que sean durables, reciclables, con bajo o nulo impacto en el ambiente y la salud de las personas, basándose en criterios de Investigación + Desarrollo + Innovación.

- El tema es "original" ya que no se han encontrado hasta el momento registros de CB aplicada a recubrimientos en materiales de PC o placas fabricadas con aglomerantes más fibras naturales, ni a otros materiales constructivos.
- El tema es "pertinente" porque está basado en la necesidad de lograr que los materiales para la Construcción, causantes de diversos problemas de contaminación y emisiones de gases de efecto invernadero, reduzcan su huella ambiental y su impacto en la salud manteniendo su calidad de diseño, por lo que se verifica la pertinencia de realizar esta investigación en una Facultad de Arquitectura y Diseño.
- Esta investigación es "factible" porque los materiales utilizados son en su mayoría de uso corriente, los procedimientos son de fácil abordaje y los insumos y elementos necesarios son asequibles.

## Conclusiones

Existen a nivel mundial numerosas búsquedas de soluciones para la elaboración de plásticos más sostenibles que persiguen el objetivo de paliar los graves efectos ambientales producidos por los derivados del petróleo. Nos sumamos a esa exploración intentando crear algunas Herramientas necesarias para el conocimiento y la aplicación de bioplásticos a la fabricación de nuevos productos constructivos. Como primer paso, nos acercamos a la Celulosa Bacteriana, de origen natural y biodegradable, atóxica y con buenas propiedades mecánicas. Muy abundante en la Naturaleza, su fuente de carbono puede obtenerse de diversos residuos orgánicos, generando así un valor para los mismos.

Desarrollar su potencialidad como protección de revestimientos para construcción, podría representar un avance significativo en el diseño de nuevos materiales con propiedades más benignas para el ambiente y la salud. Si además se logra perfeccionar un método de fabricación sencillo y accesible, el conocimiento generado podría ser apropiado por pequeños emprendedores y cooperativas, cumpliendo el objetivo social del Centro Experimental de la Producción FADU UBA, donde se basa esta Investigación.

## Bibliografía

### Artículos de revista:

Area, M. C., & Vallejos, M. E. (2016). Bio-productos y bio-materiales a partir de la biorrefinería de residuos agro y forestoindustriales. *Panorama de la industria de celulosa y papel y materiales lignocelulósicos*, pp: 120-151.

Avila Ramirez, J. A., Cerrutti, P., Errea, M. I., & Foresti, M. L. (2018). Hidrofobización organocatalítica de nanofibras y nanocristales de celulosa para aplicaciones en materiales compuestos biodegradables. Asociación Argentina de Materiales; *Revista SAM*; 2; 9-2018; 4-9

Cacicedo M., Castro C., Servetas I., Bosnea L., Boura K., Tsafrakidou P., Dima A., Terpou A., Koutinas A., Castro G. (2016). Progress in bacterial cellulose matrices for biotechnological applications. *Bioresour Technol.* 213: 172-180.

de Oliveira Barud, H. G., da Silva, R. R., da Silva Barud, H., Tercjak, A., Gutierrez, J., Lustri, W. R., ... & Ribeiro, S. J. (2016). A multipurpose natural and renewable polymer in medical applications: Bacterial cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 153, 406-420.

Duong H. M., Nguyen S. (2016). Nanocellulose Aerogels as Thermal Insulation Materials. *Nano and Biotech Based Materials for Energy Building Efficiency*. Cham: Springer.

Jha, K., Nandan, A., Siddiqui, N. A., & Mondal, P. (2020). Sources of Heavy Metal in Indoor Air Quality. In *Advances in Air Pollution Profiling and Control* (pp. 203-210). Springer, Singapore.

Karana E., Blauwhoff D., Hultink E. y Camere S. (2018). When the Material Grows: A Case Study on Designing (with) Mycelium-based Materials, *IJDesing* 12 (2): 119-136.

Liebner F. et al. (2010). Aerogels from unaltered bacterial cellulose: Application of scCO<sub>2</sub> drying for the preparation of shaped, ultra-lightweight cellulosic aerogels. *Macromol Biosci.* 10 (4):349–352.

Pineda, L. D. C., Mesa, L. A. C., & Riascos, C. A. M. (2012). Técnicas de fermentación y aplicaciones de la celulosa bacteriana: una revisión. *Ingeniería y ciencia*, 8(16), 307-335.

Pourramezan Z., Roayaei A., Ghezelbash G. (2009). Optimization of culture conditions for bacterial cellulose production by acetobacter sp. 4B-2. *Biotechnology.* 8 (1): 150–154

Raghavendra, G. M., Jayaramudu, T., Varaprasad, K., Sadiku, R., Ray, S. S., & Raju, K. M. (2013). Cellulose–polymer–Ag nanocomposite fibers for antibacterial fabrics/skin scaffolds. *Carbohydrate polymers*, 93(2), 553-560.

Sai H., Xing L., Xiang J., Cui L., Jiao J., Zhao C., Li Z., Li F., Zhang T. (2014). Flexible aerogels with interpenetrating network structure of bacterial cellulose–

silica composite from sodium silicate precursor via freeze drying process. *RSC Adv.* 4 (57):30453-30461.

Sundell J. (2004). On the history of indoor air quality and health. *Indoor Air* 14 (7): 51-58

Torgbo, S., & Sukyai, P. (2018). Bacterial cellulose-based scaffold materials for bone tissue engineering. *Applied Materials Today*, 11, 34-49.

Wang J., Tavakoli J., Tang Y. (2019). Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods – A review. *Carbohydrate Polymers* 219 (1): 63-76.

Tesis:

Guinea Nava, M. (2016). *Diseño de planta piloto para producción de Celulosa Bacteriana* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya), pp: 12-18.

Material En Línea:

Ecured, (2020). *Ésteres*. Recuperado el 17/07/2020 de: [https://www.ecured.cu/%C3%89steres#:~:text=Serie%20qu%C3%ADmica%3A,uno\)%20de%20un%20%C3%A1cido%20oxigenado](https://www.ecured.cu/%C3%89steres#:~:text=Serie%20qu%C3%ADmica%3A,uno)%20de%20un%20%C3%A1cido%20oxigenado).

EPA. (2020). *Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality* United States Environmental Protection Agency. Recuperado el 23/07/2020 de: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>.

ILFI. (2020). *The Red List*. International Living Future Institute (ILFI). Recuperado el 23/07/2020 de: <https://living-future.org/declare/declare-about/red-list/>