

# Aplicaciones de la nanocelulosa en la elaboración de elementos resistentes

**Daniel Rojas Gutiérrez**

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Universidad de Chile

daniel.rojas.1@ug.uchile.cl

Profesora guía: Claudia Torres Gilles

## **Resumen**

El artículo analiza las propiedades de la nanocelulosa como sus diferentes métodos de extracción con el fin de determinar sus respectivas aplicaciones, tomando como referencia los diferentes materiales que se utilizan actualmente en construcción. Sumado a esto, una comparativa de casos con el objetivo de definir un área de trabajo y formato establecido. Además, mediante el establecimiento del estado de arte, considerando la realidad internacional y nacional, se busca definir áreas con potencial tanto como material como métodos de obtención y distribución.

**Palabras clave (4):** nanocelulosa, resistencia mecánica, sustentable, nanotecnología

## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno con repercusiones que van en aumento producto de malas prácticas que no respetan el medio ambiente, abusan de los recursos naturales y contaminan, factores que engloban también, a gran parte de la industria de la construcción. De acuerdo a Macozoma (2012), estas operaciones se atribuyen en un 12-16% al consumo de agua, 25% de madera cosechada, 30-40% consumo energético, 40% de materiales vírgenes extraídos y un 20-30% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Frente a esta situación y al auge que vive el sector de la construcción, es de vital importancia la búsqueda de métodos más sustentables en el proceso constructivo. Como una de las posibles respuestas a este problema, se ha trabajado en diversas investigaciones a nivel multidisciplinario dando lugar a la nanotecnología.

La nanotecnología se comprende como estudio y creación de materiales a una escala nano, que se refiere a nanómetro(nm) como la millonésima

parte de un milímetro, que permiten desde mejorar la resistencia mecánica, nuevas técnicas de construcción, hasta la producción de nanomateriales con una menor huella de carbono y biodegradables, como es el caso de la nanocelulosa.

La nanocelulosa se proyecta como el material del futuro, pero ¿qué es este material?. Es un tejido biodegradable de célula que se obtiene de la fibra de la madera, de manera natural, como pino, picea, abedul, etc., o fibras naturales como el algodón o bambú. Una fuente alternativa es de las algas, pero frente al potencial de obtenerlo de las hectáreas de bosque con la que cuenta Chile es la principal opción. De acuerdo a Pulido (2016), en cuanto al uso y proceso de extracción, existen diferentes métodos químicos para pasar de la celulosa a la nanocelulosa(Figura 1): homogeneización o altas temperaturas, hidrólisis ácida y reticulación.

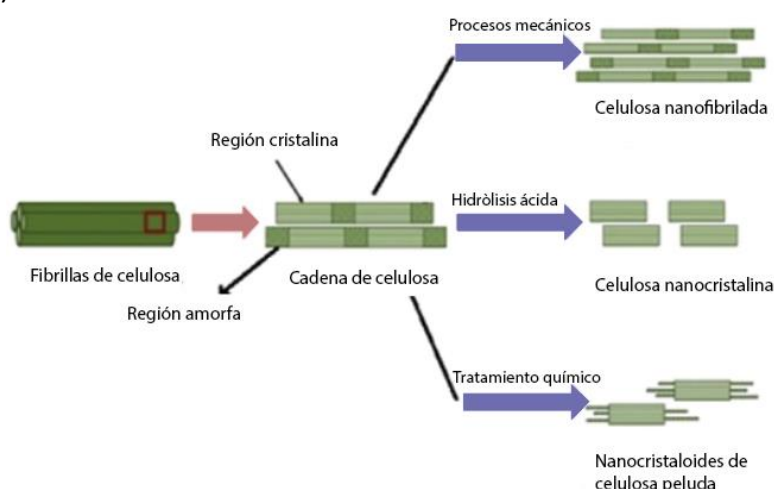


Fig. 1. Representación esquemática de la extracción de nanocelulosa. Obtenido de Proyecto Extracción de nanocelulosa de agro-residuos (2019)

En el ámbito internacional y como menciona la UBB (2017), Estados Unidos junto con Finlandia son los pioneros en la investigación de la nanocelulosa y su aplicación en diferentes áreas desde el sector médico hasta la industria de la construcción, destacando los estudios de la Universidad de Maine con propuestas como tableros de fibra compuesta para el aislamiento y otros productos de madera que gracias a la nanotecnología son más ligeros y resistentes que los paneles de yeso tradicionales, pisos de cemento y nanocelulosa resistentes al fuego, agua, etc.

Según Ruiz (2019), en Chile existen 2,4 millones de hectáreas que corresponden a bosque plantado cuyo 0,8 % son eucaliptos, que junto con el pino son las principales materias primas para la nanocelulosa. Estos datos han llamado la atención de los investigadores para descubrir nuevos usos e intentar aprovechar al máximo este material en abundancia.

Actualmente, en el ámbito nacional, la Universidad del Bío-Bío destaca en su investigación de la nanocelulosa con el enfoque de expandirse y abrir esta tecnología al mercado en el país para luego internacionalizarse. William Gacitúa, director del Departamento de Ingeniería en Maderas de la UBB y del Centro de Biomateriales y Nanotecnología (CBN), se enfoca en la nanocelulosa producto de una investigación del Fondef (Fondo de

Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico) para una mejor valorización del eucalipto.

Los resultados de la UBB han llamado la atención del sector privado con empresas relacionadas al uso de madera como *Nanotec* que se interesó en apoyar estos proyectos de investigación de nanocelulosa, tomando en cuenta la resistencia mecánica y sus efectos en otros materiales. *Masisa* es otra empresa con el objetivo de continuar el trabajo en conjunto para encontrar soluciones que favorezcan el futuro.

El uso de esta nanotecnología abre las posibilidades en diferentes áreas y formatos de uso del propio nanomaterial. En el caso de la elaboración de elementos resistentes, surge con el fin de obtener y construir edificaciones más sustentables, con menor impacto y huella de carbono. En la actualidad los materiales estructurales más utilizados son el hormigón, acero y madera, cada uno con diferentes cualidades, permitiendo que según el tipo de enfoque que se busque, se mejoren resultados ya sea en resistencia mecánica o resistencia al fuego por ejemplo. A pesar de sus características, la nanocelulosa busca potenciar sus cualidades a la vez que se reduce su impacto medioambiental, de ahí la importancia de esta en el apartado de construcción

Así de esta manera surgen las siguientes preguntas:

¿Es posible la aplicación de la nanocelulosa como material resistente estructuralmente en edificaciones?

¿Cuáles son los formatos posibles para su aplicación estructural?

De acuerdo a esto se plantea la hipótesis de que, si bien la nanocelulosa es un material que por sus condiciones de resistencia mecánica puede ser un buen material para las estructuras resistentes arquitectónicas, las limitaciones de formato la restringiría a ser un elemento secundario.

**El objetivo principal** de esta investigación es, determinar las posibles áreas de aplicación, alcances y formatos de la nanocelulosa como elemento constructivo arquitectónico a partir de la comparación de sus cualidades mecánicas con materiales que se usan actualmente.

Para ello se plantean los siguientes **objetivos secundarios**:

- Reconocer las ventajas mecánicas de la nanocelulosa por sobre los materiales que se usan en construcción.
- Comparar las condiciones y propiedades mecánicas para establecer su campo de aplicación.
- Plantear posibles formatos de elementos constructivos donde, de acuerdo a sus propiedades, sea factible la aplicación estructural del material

## 2. METODOLOGÍA

El presente trabajo se abordará a través de una metodología de análisis cualitativo y cuantitativo, mediante comparaciones de diferentes materiales con la nanocelulosa, sus métodos de extracción, materias primas principales y la forma de cómo esto puede afectar en los resultados finales. Este estudio se enfocará en los materiales con mayor resistencia mecánica, formas de obtenerlo e impacto en el medioambiente, basándose en los valores expuestos en artículos científicos como principal fuente.

También, mediante una revisión bibliográfica se destacarán los procedimientos de implementación de la nanocelulosa desde lo sustentable con menor impacto al medioambiente.

De acuerdo a lo anterior, se desarrollaron las siguientes Etapas de investigación:

### *Etapas 1\_ Revisión Bibliográfica*

Se establecerá el estado del arte mediante una recopilación de información sobre la nanocelulosa como material, considerando sus propiedades mecánicas, métodos de obtención y procesos químicos. También sobre el avance a nivel internacional y nacional en la investigación de este nanomaterial junto con prácticas que pueden ser llevadas al plano arquitectónico.

## *Etapa 2\_ Análisis Comparativo de materiales*

Revisión de valores de resistencias mecánicas de los materiales en comparación con los de la nanocelulosa y acercamiento a aplicaciones arquitectónicas con enfoque en elementos constructivos. Además, una clasificación de ventajas y desventajas en la aplicación de cada uno para determinar el área más favorable en la cual trabajar.

## *Etapa 3\_ Análisis de casos de estudio*

Análisis de casos de estudio en los que ya se ha trabajado con el material como referentes para nuevas aplicaciones como también casos en los que se requiera una mejora, más resistente y menos contaminante.

## *Etapa 4\_ Determnación de diferentes formatos menos contaminantes*

Determinar diferentes formatos de uso del material, tomando en cuenta los procesos menos contaminantes, como elemento constructivo. Las que respondan, mejor para el uso estructural que se le defina.

## *Etapa 5\_ Conclusiones generales*

Se realizará una conclusión final respecto a lo propuesto y a los casos de estudio para confirmar o refutar la hipótesis planteada al comienzo de esta investigación

## **3. CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE Y NANOTECNOLOGÍA**

*“El desarrollo es sustentable cuando satisface las necesidades de la presente generación sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para que satisfagan sus propias necesidades”.* (Gro Bruntland, 1987, 48)

En la actualidad, con todos los efectos que ha traído la contaminación ambiental, el concepto de sustentabilidad cada vez toma mayor protagonismo frente al imparable avance del cambio climático. A una macro escala, el abuso de recursos naturales sumado a la contaminación de diversos sectores contribuyen a agravar el problema, siendo las principales causas, el alto consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Emisiones globales de CO<sub>2</sub> por Sector

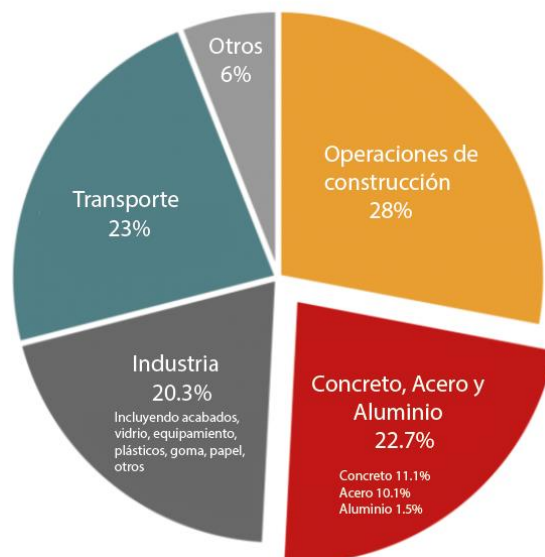


Fig. 2. Gráfico de emisiones de CO<sub>2</sub>. Obtenido de Global ABC Report, IEA (2018)

Tan solo el área de la construcción, entendiéndose a la construcción de edificaciones y procesos constructivos de ésta, de acuerdo al *Global Status Report* (2018) el consumo de energía final global representa el 36%, produciendo un 39% de CO<sub>2</sub>. Además, como indica la Figura 2, las áreas de mayor impacto de CO<sub>2</sub> y principales materiales en procesos constructivos. Acorde a este estudio, el sector de la construcción corresponde al de mayor consumo de energía y contaminación.

A nivel país, de acuerdo a la *Red Global de la Huella Ecológica* (2021), Chile agotó sus recursos el lunes 17 de mayo lo que significa que se necesitaría un segundo y hasta un tercer planeta para sostener el tipo de vida que se ha construido (Asún, 2021) Por tanto, no solo se contamina, sino que existe una mal aplicación de estos recursos naturales.

En los últimos años un concepto toma cada vez más peso, este es la economía circular, la cual busca redefinir el crecimiento con un énfasis en un modelo de producción más consciente y sustentable. El efecto en este tipo de modelo es positivo, ya que busca un flujo continuo en el cual los residuos producidos son reingresados al sistema

Como respuesta al impacto negativo del sector de la construcción es que se han buscado diversas maneras para cambiar el modelo imperante y lograr alcanzar una economía circular. De acuerdo a esto, nuevas tecnologías y campos de aplicación han surgido, siendo la nanotecnología una respuesta a estas

problemáticas. Mediante el nanomaterial, que consiste en un material que está en escala nano (milmillonésima parte de un metro), se busca maximizar las propiedades que pueda presentar.

Este proceso ayuda a mejorar la propia sustentabilidad del material, resistencia y vida útil del mismo. Tal es el caso de la nanocelulosa que, siendo biodegradable y cuyas fuentes de obtención son de la celulosa proveniente de árboles hasta desechos de cáscara de arroz, la convierten en un nanomaterial beneficioso en su uso como parte de la economía circular.

#### **4. OBTENCIÓN Y PROPIEDADES DE LA NANOCELULOSA**

*“..más del 90% de la producción de celulosa se obtiene de la madera y el 10% restante de otras plantas”* (Sanz, 2014).

*“La fuente de la celulosa es la madera, la cual se compone principalmente de este polisacárido alcanzando la mitad del material total, luego le sigue con un 25% la lignina (polímero resultante de la unión de ácidos y alcoholes fenilpropílicos que le otorgan dureza y protección. Además de un 25% de hemicelulosa la que actúa como unión entre las fibras.”* (Roger Rowell, 2012)

Respecto a la celulosa, en las plantas forman parte de los tejidos de sostén al ser un polisacárido estructural formado por glucosa que forma parte de la pared de las células vegetales. De acuerdo a M.M. Mleziva (2012), las células vegetales jóvenes contiene un 40% de

celulosa, la madera un 50% como antes se menciona y en su estado más puro se encuentra el algodón con cerca del 90%. Sus funciones consisten en servir como elemento resistente de la planta y darle protección vegetal. Posee gran resistencia a agentes químicos, insoluble en la mayoría de los disolventes e inalterable al aire seco.

Cabe destacar que existen bacterias y hongos que son capaces de hidrolizar<sup>1</sup> la celulosa, teniendo gran importancia ecológica al poder reciclar los materiales celulósicos como papel, cartón y madera.

Las fuentes de obtención de la celulosa son variadas y cada una determina el futuro enfoque de trabajo respecto al

objetivo deseado en relación a las características particulares de cada una como se menciona en la Figura 3.

Una vez obtenida la celulosa, al trabajarla a una escala nano permite nuevas oportunidades respecto a sus propiedades y resistencia mecánica. Para obtener la nanocelulosa, la celulosa se somete a una serie de procesos de purificación que se engloban en tres tratamientos principales, modificaciones químicas, bacterianas y tratamiento mecánico. Según el tratamiento se clasifican en nanofibrillas de celulosa (CNF), nanocristales de celulosa (CNC) Y nanocelulosa bacteriana (BC) como se observa en la tabla 2.



Fig. 3. Esquema de fuentes de la celulosa y aplicaciones. Obtenido de Industrial Crops and Products (2016).

<sup>1</sup> Es una reacción química entre una molécula de agua y otra macromolécula, en la cual la molécula de agua se

divide y rompe uno o más enlaces químicos y sus átomos pasan a formar unión de otra especie química.



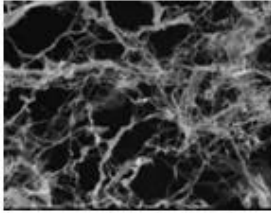
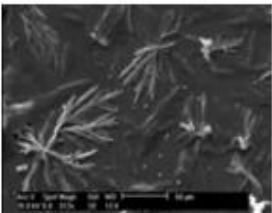


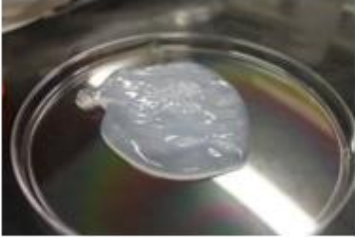

Tratamientos de obtención de nanocelulosa		
<p>Nanofibrillas de celulosa (CNF)</p> 	<p>Nanocristales de celulosa (CNC)</p> 	<p>Celulosa bacteriana (BC)</p> 
<p>Se producen mediante la trituración a alta presión de la suspensión de pulpa celulósica y se forman redes de nanofibrillas fuertemente entrelazadas. La diferencias con los CNC es que estos no alcanzan ese nivel de pureza y se encuentran tanto cristalinos como regiones amorfas. Su longitud es de pocos micrómetros y su diámetro de 5-50nm. Para obtener este producto se pueden utilizar tres procesos que son mediante el tratamiento mecánico, entendido como trituración y homogeneización, tratamientos químico (oxidación) y una combinación de ambos procesos.</p>	<p>Se producen comúnmente mediante hidrólisis ácida de materiales celulósicos dispersos en agua. Se suele utilizar ácido sulfúrico concentrado y esta técnica producen un CNC rígido con cerca del 90% de pureza. Su longitud se encuentra entre los 200-500nm y el diámetro es de 3-35nm.</p>	<p>En contraste con la biosíntesis de CNC y CNF, la biosíntesis de BC implica la adición de moléculas desde unidades diminutas (Å) a unidades pequeñas (nm). En esta, las cadenas de glucosa se suministran al interior del cuerpo bacteriano y se expulsan a través de poros menores presentes en la pared celular. Las nanofibras BC se forman cuando la glucosa se combina con la pared celular. La estructura resultante en forma de cinta produce un sistema de nanofibras único de una longitud de 20-100nm</p>
		

Fig.4 tabla de tratamientos de obtención de nanocelulosa. Elaboración propia a partir del libro Nanocomposites celulósicos a partir de fibras naturales para aplicaciones médicas. (2014)



#### 4.1 Aplicaciones de la Nanocelulosa

De acuerdo a Gan (2020), las características **mecánicas, dinámicas y térmicas** de los compuestos de nanocelulosa permiten que al usarse como un compuesto de refuerzo en otro material, éste adquiera propiedades sobresalientes al tener incorporado este relleno nanométrico. En base a eso, se alzan como potenciales reemplazos de los compuestos de polímeros sintéticos convencionales. Otro motivo que se le atribuye a esta ventaja del material es su peso ligero, alta rigidez y resistencia mecánica superior.

Para corroborar estos datos, Dominic (2020) experimentó con nanocelulosa de cáscara de arroz en búsqueda de un nuevo material verde en la aplicación de neumáticos. Menciona que aún en cantidades menores, como aditivo, la elasticidad alcanza 150 GPa (promedio numérico) con una relación de aspecto favorable. Sumado a esto, un bajo coeficiente de expansión térmica y alta superficie específica. Con estos resultados se abre un futuro en la incorporación de este relleno nanométrico en la creación de nuevos materiales verdes.

Más a detalle en la aplicación en los neumáticos, son capaces de disminuir la resistencia al roce (con lo que se mejora el consumo de combustible) y aumentar la resistencia al desgaste (lo que prolonga la vida de los neumáticos), al tiempo que mantienen la adherencia a superficies mojadas y los niveles de seguridad existentes

Otro punto a destacar es el que señala Kalhori y Bagherpour (2017) acerca de la celulosa bacteriana (BC) que ha generado creciente interés en aplicaciones de ingeniería entre científicos e ingenieros de materiales. Tal es el caso de Akhlaghi et al. (2020), quienes investigaron la susceptibilidad de las fibras bacterianas de nanocelulosa como refuerzo en compuestos de cemento, en el que observaron que los BNC mejoraron las propiedades mecánicas de los morteros de cemento. Sin embargo, la nanocelulosa en sus diferentes formas, no tan solo funciona como un refuerzo en otros materiales, ya que propiedades como la renovabilidad, biocompatibilidad, biodegradabilidad y transparencia óptica abren el campo de posibles aplicaciones y formatos.

*“No obstante, las propiedades vitales explícitamente la cristalinidad, la morfología de la superficie, la química de la superficie y la dimensión de la nanocelulosa difieren según la fuente de la materia prima y su proceso de extracción, que en última instancia determinará su aplicabilidad”* (Liu et al., 2016). Aparte, se señala que existe una relación directa entre un mayor porcentaje de cristalinidad afecta positivamente a las propiedades mecánicas y térmicas (Yang et al., 2017), por lo que los CNC son los más idóneos en la búsqueda de una aplicación que requiera de gran resistencia mecánica. Por esta razón es que dentro de la variedad en compuestos en base a nanocelulosa, según su método de tratamiento, los CNC cada vez más se

posicionan como el nanomaterial requerido por las cualidades escritas anteriormente.

Esto sin contar que en comparación con otros nanorrellenos convencionales como la mica, la nanoarcilla y el óxido que no es de aluminio, los CNC poseen menores impactos negativos tanto para la salud como para el medio ambiente (Ng et al., 2017).

Finalmente en términos estructurales, a nivel de nanomaterial, la incorporación de estos en una matriz polimérica mejora la resistencia a la tracción y disminuye la elasticidad, permitiendo cotejar posibilidades en aplicaciones arquitectónicas

Respecto a las aplicaciones y estado de la investigación en Chile, este se debe en gran medida al interés por contar con el potencial de biomasa forestal y la necesidad de aumentar el valor agregado. De acuerdo con el Director del Postgrado en Ciencias Forestales UdeC, Dr. Regis Teixeira, está comenzando a realizar investigaciones en el área de la nanocelulosa y menciona que *“para la caracterización del material necesitamos el contacto con estos equipos de investigación, pues poseen equipamientos instalados, de esa forma podremos generar pasantías de investigación para estudiantes e investigadores. El objetivo es aprender y tener la posibilidad de capacitación con estos grupos que ya tienen esta tecnología desarrollada”*.

Gracias a los esfuerzos compartidos tanto por investigadores como por los estudiantes enfocados en esta área de

estudio, es que se ha avanzado en la caracterización de las nanopartículas de especies locales, estimando que entre 2 a 3 años se tendrán prototipos escalables para llegar al mercado

*“Si todo va bien, seremos el primer centro del hemisferio sur avanzando en el desarrollo de aplicaciones para la nanocelulosa”* (Gacitúa)

Dentro de las **aplicaciones** del material mencionadas con anterioridad, un nuevo uso que se ha descubierto para la nanocelulosa es como **gelificante**, surgiendo por la escasez de alcohol gel producto de la pandemia de COVID-19. Si bien no es estructural el uso que se ha descubierto, permite dar cuenta de la flexibilidad del material en cuanto a usos y del importante avance en materia de nanocelulosa del país, descubrimiento que se atribuye particularmente al Centro de Innovación y Desarrollo de CMPC.

## 5. MATERIALES ESTRUCTURALES

Para considerar la aplicación como material estructural es necesario entender los requisitos que debe contar este material. De acuerdo con *The Constructor* (2020), éstas son:

### a) Propiedades mecánicas:

Describe el comportamiento de los materiales cuando son sometidos a las acciones de fuerzas exteriores.

- Resistencia mecánica: resistencia que presenta un material ante fuerzas externas entre las cuales se pueden

encontrar el esfuerzo a la tracción, compresión, flexión, corte y torsión

- Elasticidad: propiedad de los materiales de recuperar su forma original cuando deja de actuar sobre ellos la fuerza que los deformaba.
- Plasticidad: propiedad de los cuerpos para adquirir deformaciones permanentes.
- Maleabilidad: facilidad de un material para extenderse en láminas o planchas.
- Ductilidad: propiedad de un material para extenderse, sin romperse, formando cables o hilos.
- Fragilidad: es la incapacidad de un material para sufrir deformaciones importantes sin llegar a romper. Es la propiedad opuesta a la ductilidad
- Tenacidad: es la resistencia que ofrece un material a romperse cuando es golpeado.

#### b) Propiedades térmicas:

Como menciona Fanny Zapata (2021), son aquellas que determinan el comportamiento de los materiales frente al aumento de temperatura

- conductividad térmica ( $\lambda$ ): se refiere a la habilidad intrínseca de un material de transferir o conducir calor
- densidad ( $\rho$ ): define el coeficiente entre la cantidad de masa (Kg) que caracteriza el material y el volumen unitario ( $m^3$ )
- calor específico ( $C_p$ ): característica del material que expresa la cantidad

de calor necesario (J) para aumentar un grado (1K) la temperatura de una unidad de masa (Kg). Determina la capacidad de un material para acumular calor.

- Dilatación térmica: Es el aumento de tamaño que sufre un material cuando se eleva la temperatura de este. Las juntas de dilatación separadoras en construcción se hacen para que, con los aumentos de temperaturas y el consiguiente aumento de volumen, el material pueda expandir o alargarse libremente. (Materialesde, 2013)

#### c) Propiedad Higroscópica:

Corresponde a aquella capacidad de los materiales que atraen agua en forma de vapor o de líquido del ambiente donde se encuentran, dada esta capacidad, a menudo son utilizados como desecantes (Vadequímica, 2017).

- La nanocelulosa tiene una fuerte **hidrofilia**<sup>2</sup> debido a la presencia de abundantes grupos hidroxilo o los grupos funcionales hidrófilos introducidos durante el proceso de preparación. Aunque estos grupos hidrófilos benefician a la nanocelulosa con un gran potencial de aplicación que se utiliza en medios acuosos (p. Ej., Modificador de reología, hidrogeles), dificultan el rendimiento de la nanocelulosa utilizada como agentes reforzantes de polímeros hidrófobos y reducen la estabilidad de la nanoestructura

---

<sup>2</sup> Es el comportamiento de toda molécula que tiene afinidad por el agua. En una disolución o

coloide, las partículas hidrófilas tienden a acercarse y mantener contacto con el agua.

autoensamblada (por ejemplo, nanopapel, aerogel) en un ambiente de alta humedad.

- En respuesta a su naturaleza hidrofílica, uno de los métodos para conseguir nanocelulosa superhidrofóbica<sup>3</sup> es mediante un tratamiento químico que consiste en una ruta simple para la esterificación y procesamiento de CNF. Este involucra filtración al vacío intercambio de disolvente de agua a acetona y reacción con anhídrido moléculas que llevan diferentes cadenas de alquilo hidrófobas por prensado en caliente (Houssine, 2014)

---

<sup>3</sup> Aquellas sustancias que son repelidas por el agua o que no se pueden mezclar con ella.

TABLA 1. Comparación de Propiedades de los materiales más usados en construcción y nanocelulosa. Fuentes\*

Propiedades	Acero	Hormigón HA25	Madera c24	Ladrillo grado 1	Nanocelulosa	
Térmicas <sup>4</sup>	Calor específico (J/(kg·K))	460	837	1381	840	-
	Conductividad térmica (W/(m·K))	47-58	1,4	0,13	0,8	0,03-0,06
Resistencia <sup>5</sup>	flexión (mpa)	500	11,9	24	0,98	10.000
	tracción (mpa)	275	1,79	14 (0°) 0,5 (90°)	-	110 - 220
	compresión (mpa)	275	25	21 (0°) 2,5 (90°)	14,71	500
	cortante (mpa)	158	1,79	2,5	0,89	
	módulo de elasticidad medio (mpa)	210.000	32.000	11.000	-	100.000-130.000
	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	7850	2500	420	1800	1600

\* Tabla elaborada en base a:  
Propiedades térmicas de materiales. Obtenido de Miliarium (2010)  
Propiedades de materiales de construcción. Obtenido de Theconstructor (2016)

Revisión de nanocelulosa para materiales sostenibles futuros. Obtenido de International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology (2015).

A partir de los antecedentes presentados y en relación con las Tablas 1 y 2, la nanocelulosa presenta propiedades mecánicas que lo convierten en un material idóneo estructuralmente. En Tabla 1 si comparamos los valores de la nanocelulosa frente a los otros materiales expuestos, en el caso de la tensión este nanomaterial alcanza valores superiores a los demás siendo 20 veces más resistente que el acero y más liviano con 1600 frente a los 7850 kilos por metro cúbico.

Sin embargo en la tabla 2 (ver Anexo 2) en relación a los otros materiales se ve notoriamente inferior en la flexibilidad de formatos, dejando a éste con un formato aplicable en usos particulares. Además, que a diferencia del acero, madera o módulos de arcilla, la nanocelulosa requiere de un material principal para poder ser aplicada, ya que por las condiciones propias del material, no puede constituir un elemento estructural por si solo. La razón principal es debido al medio acuoso en el que se produce que dificulta su uso. Como menciona Reyes (2021), se puede secar pero suele quedar como una especie de talco que no tiene resistencia, si o si debe actuar como un refuerzo, de otra matriz superior que soporte la construcción. Por tanto, no es posible actualmente su aplicación como elemento base o principal, requiere de otro material para poder ser considerada como un formato aplicable en lo estructural.

## 6.0 USOS ACTUALES DEL MATERIAL

Dado a esta restricción, hasta ahora, el enfoque de diseño de este nanomaterial se encuentra en su uso como aditivo, con aplicaciones industrializadas como es el caso del producto Exilva (caso particular de uso de microfibrillas de celulosa) y otros con la mezcla de aserrín y alginato<sup>6</sup> para la elaboración de paneles que viene a reemplazar los actuales MDF. Siguiendo en el sector de la construcción, se ha visto que puede actuar como modificador reológico en mezclas de concreto, cubriendo también microfisuras que se producen en el hormigón.

A pesar de la limitación de formato que sufre la nanocelulosa para un uso estructural, las posibilidades y beneficios como refuerzo, en cuanto al mejoramiento del material principal que potencie, la convierten en un material valioso debido a la menor huella de carbono que conlleva en la elaboración de productos. Entre estas aplicaciones se encuentran como:

- A. **Aditivo.** Tal es el caso del uso de nanocelulosa bacteriana (BNC) como aditivo para mejorar las propiedades mecánicas en los morteros de cemento, en el que además se menciona dos formatos del aditivo siendo estos como gel y polvo. Este último logrando una mejor respuesta mecánica, debido a que estas nanofibrillas consiguen aumentar la homogeneidad al rellenar los poros del mortero (Akhlaghi et al, 2020). En

---

<sup>6</sup> Los alginatos son estabilizantes extraídos de las algas pardas situadas en las costas chilenas,

estos estabilizantes se utilizan en diversas industrias a nivel mundial.

este estudio, para comparar la utilización de la nanocelulosa y su resistencia tanto a la flexión como compresión, se llegó al resultado de que si bien ambos formatos de nanocelulosa bacteriana (BNC) logran valores favorables, la BNC en gel fue inferior. Los valores obtenidos según el porcentaje de aditivo fueron de 103% al 0.5% de BNC en polvo en esfuerzo a la flexión. Además de la disminución de absorción de agua en el mortero siendo esto beneficioso para el medioambiente. Dentro de otros factores que surgieron en el proceso como las características de las superficies de las fibras recubiertas con nanocelulosa, se comprobó los efectos positivos y flexibilidad de las fibras.

Otro caso de estudio también relacionado con el concreto/hormigón es el hormigón de ultra rendimiento (UHPC), que si bien otorga una solución favorable para la construcción, posee una desventaja que es la contracción autógena<sup>7</sup> para la fundación in situ, como menciona Hisseine et al (2020). En base a esta problemática surge la idea de controlar esta contracción mediante el uso de nano fibrillas de celulosa. En estos ensayos se añaden de 0-30% de nanofibrillas de celulosa

en la masa de cemento y como resultante se consigue atenuar considerablemente el problema (al tiempo que se variaba el contenido de humo de sílice <sup>8</sup> de un 25 a 15%). Se explica gracias a dos mecanismos que son el efecto de curado interno<sup>9</sup> con una reducción de 45 a 75% a las 24 horas, 22 a 53% a los 7 días y 20 a 40% a los 14. El segundo es gracias al nano refuerzo, mejorando la estabilidad volumétrica y reduciendo en un 28% la contracción a los 7 días.



Fig. 5. Bloque de concreto Exilva. Obtenido de Exilva (2016)

B. **Adhesivo.** Otro caso de estudio es el señalado por Podlena et al (2021), en el que los adhesivos de madera, con nanocelulosa entre sus compuestos,

<sup>7</sup> Se define como la reducción volumétrica aparente externa que experimenta un sistema cementíceo, como consecuencia de la combinación de dos fenómenos, a saber: la contracción química de la pasta y los fenómenos de autodesecación

<sup>8</sup> Es un subproducto que se origina en la reducción de cuarzo, de elevada pureza, con

carbón en hornos eléctricos de arco para la producción de silicio y ferrosilicio. Se utiliza como adiciones para hormigón de alta resistencia.

<sup>9</sup> Consiste en incluir en el hormigón agentes capaces de almacenar agua y cederla cuando la pasta de cemento a su alrededor comienza a perder humectación, debido a la deshidratación y pérdidas al ambiente.



surgen como respuesta natural a los adhesivos comerciales que contienen formaldehído (dañino para el medioambiente y salud de las personas por sus emisiones). Los adhesivos se prepararon en base a la proteína de soja (SPI) aislando esta proteína o harina de proteína de soja (SF) con diversos polímeros, entre ellos se encuentran: óxido de polietileno (PEO), hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), **nanofibrillas de celulosa** (CNF) o alcohol polivinílico (PVA) con y sin adición de lignina kraft. Este producto se testeó en la unión de madera dura y madera blanca (arce blanco y pino respectivamente), midiendo la resistencia al corte según el método ASTM D905-08<sup>10</sup>. Los resultados fueron más favorables con base SPI, aunque la **resistencia al cizallamiento** en seco de los adhesivos varía según el tipo de madera, aditivo de lignina y los polímeros involucrados.

- C. **Aglutinante.** Es necesario señalar el estudio realizado por Hafez (2020), en el que trabaja el desarrollo de sustitutos para paneles de yeso laminado basados en **nanofibrillas de celulosa** (CNF) como aglutinante y partículas de madera en respuesta a las placas de yeso comerciales que traen consigo un efecto negativo en el medioambiente. La elaboración es mediante un proceso en húmedo,

requiriendo de un proceso de secado para eliminar el agua de las nanofibrillas de celulosa. Luego se ajustó la cantidad de CNF y adición de almidón. Otra consideración fue la resistencia al fuego, añadiendo ácido bórico. Los tests revelaron que los paneles/placas que fueron tratados con el retardante de fuego consiguieron alcanzar excelentes propiedades de combustión, comparando así con paneles de yeso tradicionales. También que gracias al aditivo de ácido bórico- borax se obtuvieron propiedades mecánicas mejoradas



Fig. 6. Muestra de alta densidad NCF. Obtenido de Dezeen (2015)

## 6.1 Aplicaciones experimentales de nanocelulosa

- A. **Bicicleta de nanocelulosa:** En Finlandia, a cargo de Tiina Härkäsalmi se desarrolló un proceso para construir capas de nanocelulosa en un mandril y se fabricaron tubos con este método. La estructura de nanocelulosa fue reforzada con hilo celulósico tejido. El método utilizado

<sup>10</sup> Método de prueba estándar para las propiedades de resistencia de las uniones

adhesivas en cizallamiento por carga de compresión

para reforzar aún más las capas de nanocelulosa en los tubos fundidos fue gracias al filamento loncell-F<sup>11</sup> en un mandri. De acuerdo a Ideas2cycles (2018), los tubos fueron cortados y se ingletaron a la longitud deseada. Después se aplicó una unión adhesiva en ángulos específicos gracias a accesorios impresos en 3D, juntas reforzadas con fibra de carbono. El laminado se curó en una bolsa de vacío y la superficie exterior lisa se logró con la ayuda de moldes impresos en 3D. Finalmente, se aplicó una capa transparente sobre la superficie y se montó la bicicleta utilizando componentes estándar. Esto permite proyectar a futuro sobre el potencial para reemplazar algunos de los compuestos de fibra sintética con una alternativa natural y renovable.



Fig. 7. Bicicleta compuesta de nanocelulosa. Obtenido de ideas2cycles. Foto by Eeva Suorlahti (2018)

B. **Corrugated CNF sheets:** Tiina Härkäsalmi aplica el modelo a otro formato dando lugar a este producto. Estructuras tipo **sándwich** totalmente de celulosa, Láminas a base de nanocelulosa y estructuras de láminas onduladas, permiten estructuras ligeras, resistentes y rígidas totalmente de celulosa a través de varias capas.

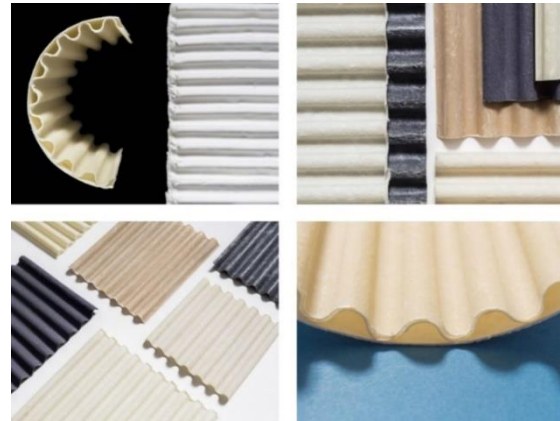


Fig. 8. Corrugated CNF sheets. Obtenido de ideas2cycles. Foto by Eeva Suorlahti (2018)

C. **Casted wood o madera fundida:** En esta se mezclan nanocelulosa y polvo de madera o aserrín grueso para producir el material que se va a moldear. La combinación de material acuoso se puede verter en moldes diseñados dando como resultado formas predeterminadas duras después de que el agua se haya evaporado. La contracción del material colado y la resistencia del material seco dependen de la proporción de mezcla de la materia prima. Sin embargo, la

<sup>11</sup> es una tecnología que convierte textiles usados, pulpa o incluso periódicos viejos en nuevas fibras

textiles de forma sostenible y sin productos químicos nocivos.

contracción es relativamente menor que si se compara con la nanocelulosa, solo un pequeño porcentaje. Gracias a esta cualidad maleable de este formato, las áreas de aplicación se expanden.



Fig. 9. Casted wood. Obtenido de ideas2cycles.  
Foto by Eeva Suorlahti (2018)

- D. **Otras exploraciones en el diseño y formato de la nanocelulosa:** Por ejemplo, se eligieron formas tubulares y hemisféricas para probar la formabilidad y la moldeabilidad de nanocelulosa 100% fibrilada y compuestos de nanocelulosa y pulpa, filamentos de celulosa o telas no tejidas formadas con espuma. Este estudio estuvo a cargo de Tiina Härkäsalmi, Universidad Aalto (Finlandia)

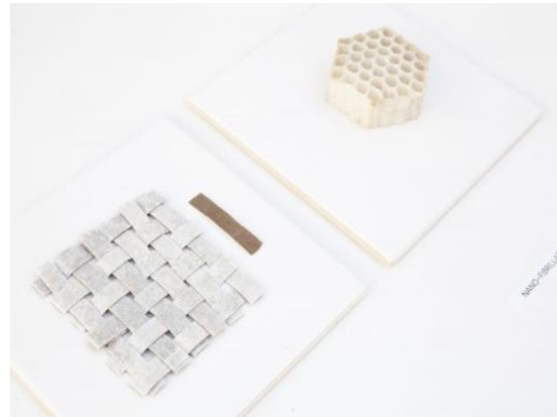


Fig. 10. Experimento de estructura de nanocelulosa de Tiina Härkäsalmi.. Obtenido de Cellulosefromfinland. Foto by Eeva Suorlahti (2018)

## 7-PROPUESTA DE FORMATOS CONSTRUCTIVO-ESTRUCTURALES

### Tradicionales:

- A. **Perfil extruido:** Tomando en cuenta el caso particular de la bicicleta compuesta de nanocelulosa en formato tubular, es posible entender, dado los valores que aporta como aditivo y resistencias respectivas mencionadas en la tabla 1, que hay opciones de uso como secciones resistentes en formato de pilares, pilotes, vigas, techumbre, entre otras, con menor densidad y peso. Se podría adoptar el tipo de uniones carpinteras tradicionales como también de elementos no basados en celulosa como chapas metálicas, uniones de fibra de carbono como ocurre en la bicicleta, entre otros. Este formato tubular no se ha considerado para la creación de pórticos continuos, sin embargo se está avanzando cada vez más en el moldeo e impresión 3D para poder lograr crearnos.



Fig. 11. Estructuras tubulares de nanocelulosa. Obtenido de Cellulosefromfinland. Foto by Eeva Suorlahti (2018)



Fig. 12. Taburete de nanocelulosa-Filamento Ioncell-F. Obtenido de Cellulosefromfinland. Foto by Eeva Suorlahti (2018)

B. **Morteros** En el caso de la utilización de la nanocelulosa como aditivo en compuestos cementosos, los usos y aplicaciones se expanden a los vistos anteriormente en el tabla comparativa de materiales, permitiendo actuar tanto en los elementos estructurales verticales y horizontales de la edificación. Para la aplicación es necesario entender que por la cantidad de grupos hidroxilo en la superficie de la nanocelulosa, esta puede absorber agua mientras se mezcla con los materiales cementosos como a su vez puede ser modificada ajustando los grados de hidrofiliicidad, dando un rango mayor para su aplicación. El uso varía según la dosis que se le aplique, una dosis alta puede afectar las propiedades mecánicas negativamente, por lo que es necesario un método de dispersión para mejorar los efectos. Como se ha mencionado con anterioridad, también como modificador reológico y como señala Hisseine y Col, podrían mejorar la estabilidad de la mezcla en el concreto autocompactante al aumentar la tensión de fluencia y viscosidad (podría permitir hidratar sin sedimentar las pastas de cemento con alta relación agua-cemento\*). Otro uso es reducir la contracción en el cemento con una relación agua-cemento baja.

C. **Moldeado 3D:** gracias a la posibilidades de las impresiones en 3D como parámetros de corte, patrones de relleno, espesores, entre otros, permiten modificar los

elementos para adaptarse a diferentes aplicaciones. Además, el **estado plástico** que alcanza la nanocelulosa por ejemplo en el caso de *casted wood* previamente expuesto, abre las puertas a un posible uso en diferentes escalas. Un punto a considerar para este uso es que los materiales en base a celulosa se pueden imprimir sobre otros materiales. El principal beneficio sería que con este proceso se podría alcanzar un economía circular respecto a materiales. Actualmente la impresión 3D entorno a la nanocelulosa está enfocada a menor escala, en especial en prótesis, por el resultado complejo y personalizado que puede alcanzar, con mejores propiedades mecánicas. Dado a la creación de piezas complejas es que las posibilidades que permite puede abarcar gran parte de los formatos sólidos (laminares, tubulares, etc).

## No tradicionales

### Geometrías complejas

- A. Estructuras de doble curvatura:  
**Tanto como Placa como Shell**  
Un formato y nuevo uso/aplicación de la nanocelulosa como elemento constructivo es en estructuras paramétricas, considerando el material como reemplazado al MDF actual, sin las complicaciones a la salud y medioambiente que estos producen. Las posibilidades de aplicación son de acuerdo a las

propiedades que adquiere el material, su mayor capacidad a trabajar la forma y curvatura sin procesos adicionales de trabajo de calor (temperatura), ligereza y resistencia mecánica del material. Mediante este método y utilizando estas piezas con un sistema de encastre, permitiría abordar proyecto y artefactos efímeros de fácil trabajo de montaje y traslado. A nivel estructural puede actuar como cubierta tipo cáscara, mediante el ensamblado de piezas a través de encastre principalmente con uniones en los nudos y arriostamiento diagonal para fortalecerla como también en **estructuras autoportantes**. Dado a que se trabajaría en formato laminar en paneles y el tipo de arquitectura, se podría maximizar el uso propio del material en el proyecto. Las dimensiones estándar de los tableros de madera serán de 244×122 y espesores de 5, 10, 16, 19 y 22. Sin embargo, no sería complicado encontrar otras medidas o incluso, si el pedido es lo suficientemente grande, fabricación a medida.

para uso de mdf como referencia. Un método que facilitaría la fabricación de estas piezas sería el uso de rayos láser, pudiendo lograr piezas complejas para el posterior ensamble de estas.

Casos de referencia de uso de MDF en este tipo de estructuras son el Pabellón Ergonómico Construido con Costillas MDF, Barrios Escudero:



Pabellón Richezze. También el proyecto de Zaha Hadid Architects y Patrik Schumacher: Centro Heydar Aliyev

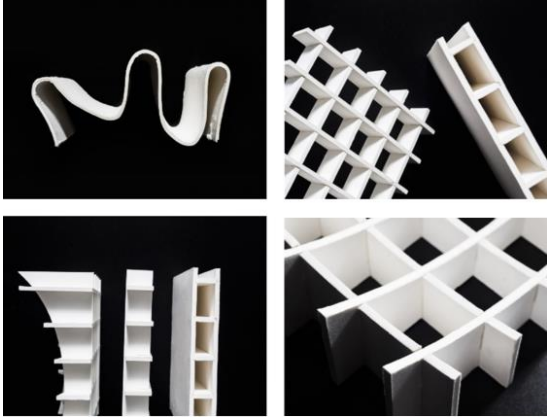


Fig. 13. Estructuras laminadas de nanocelulosa. Obtenido de Cellulosefromfinland. Foto by Eeva Suorlahti



Fig. 14. Centro Heydar Aliyev. Obtenido de Plataformaarquitectura (2013)

B. Cubierta – Shell: Laminado: el uso en formato de láminas corrugadas para la techumbre, actuando como cubierta en un sistema compuesto, tipo

sandwich. Para poder conformar este recubrimiento, el material al estar compuesto de nanocelulosa y considerando su naturaleza hidrofílica, requeriría de un tratamiento hidrofóbico, para reducir en gran medida los grupos hidroxilo en la superficie de la pulpa. De esta manera se podría conseguir un nanocompuesto superhidrofóbico solucionando este problema. Formato no estructural.



Fig. 16. Lámina corrugada de nanocelulosa. Obtenido de Cellulosefromfinland (2018)



Fig. 15. Estructuras de nanocelulosa y pulpa Tiina Härkäsalmi. Obtenido de Cellulosefromfinland (2018)



Fig. 17. Estructuras panales de nanocelulosa. Obtenido de Cellulosefromfinland (2018)

C. Membrana de tenso estructura: utilizar la nanocelulosa como textil por si sola no sería posible debido a su naturaleza acuosa. Sin embargo siendo ésta añadida a un textil existente mejoraría las propiedades físicas del material. Se propone el método más factible como la impresión 3D encima de tejidos o materiales celulosicos, debido a poder trabajarse en capas y la compatibilidad de estos. A pesar de poder lograr un textil mejorado, dado el proposito general de una membrana de tenso estructura de proteger al usuario de factores externos como el clima, el uso de este nanomaterial para este caso no sería el mejor por la principal razón de que en caso de lluvias habrían mejores opciones.

## 8. CONCLUSIÓN

La nanocelulosa se presenta como un material sustentable para el futuro por sus grandes cualidades mecánicas, menor huella de carbono respecto a otros materiales estructurales y el potencial de alcanzar nuevos formatos, así como aportar a una economía circular en la que se reutilizen los materiales no dañando el mediambiente.

Según la **hipótesis** propuesta al inicio de este seminario que planteaba que a pesar de que la nanocelulosa cuente con las condiciones de resistencia mecánica para poder ser un buen material estructural, se vería limitado en formato lo que lo restringiría a ser un elemento secundario, se abordaron ciertos objetivos para el cumplimiento de ésta.

El **primer objetivo** siendo reconocer las ventajas mecánicas del nanomaterial por sobre otros materiales, desarrollando las propiedades que presenta la nanocelulosa que la hacen destacar frente a otros materiales por los valores que presenta, habiendo en algunos casos como la flexión que es 20 veces superior al acero y a su vez más liviano. A pesar de que los valores en papel muestran a este nanomaterial con grandes potenciales para su uso en construcción, las aplicaciones y formatos se ven limitados, dado que por si sola la nanocelulosa no puede ser un elemento resistente, requiriendo así de otro material en el cual actuar como refuerzo.

Como **segundo objetivo** mediante la comparación de condiciones y propiedades mecánicas para establecer el



campo de aplicación, en la cual por medio de la relación con los otros materiales expuestos como acero, hormigón, madera, etc y sus casos de estudio como por ejemplo el del hormigón en el que se observa que al añadir un porcentaje de nanocelulosa a mezclas de concreto mejora su respuesta mecánica. Lo mismo ocurre en comparación con la madera y en distintos formatos como los paneles de nanocelulosa o secciones tubulares que se mostraron con anterioridad. Algo importante a destacar respecto a la madera es el estado plástico que puede alcanzar, permitiendo así nuevas posibilidades como son la impresión 3D obteniendo formas que con madera tradicional no sería posible.

De esta manera, analizando este nanomaterial actuando como refuerzo en otros y considerando sus aplicaciones existentes como aditivo, aglutinante, adhesivo y también las experimentales, que buscar un mayor uso de nanocelulosa, permiten entender el potencial latente para nuevos formatos estructurales en los cuales aplicarlo.

A partir de estas características es que se proponen nuevos formatos tanto en construcciones tradicional como en geometrías complejas, permitiendo abarcar e incorporar nuevos usos. Desde las placas que en condiciones tradicionales serían consideradas como elementos no estructurales, solo actuando como mobiliario o separaciones de espacios, a ser ocupadas para la fabricación de estructuras autoportantes o el refuerzo de membranas en tenso estructuras.

Tomando todo esto en cuenta es posible confirmar que la hipótesis inicial si se cumple tanto en usos como formatos del material. A su vez, además se pudo cumplir tanto el objetivo principal, ya que se logró determinar sus posibles áreas de aplicación, alcances y formatos, como también proponer nuevos formatos de elementos constructivos.

Si bien en este análisis se ha enfocado en aplicaciones estructurales, la nanocelulosa también abarca usos como revestimientos, pinturas, tratamientos contra el fuego, films, etc. En estos casos actúa como refuerzo demostrando su potencial en diferentes áreas. Incluso con estas posibilidades y contar con grandes cualidades, este nanomaterial también presenta debilidades como son su respuesta frente al agua. Al ser un compuesto celulósico y aun cuando es tratado para tener un comportamiento super hidrofóbico, requiere de un sellador. También se encuentra lo ya mencionado de su necesidad de otro material para su aplicación estructural lo que lo limita frente a los otros comparados que pueden funcionar como elemento resistente estructural por si solos.

A pesar de que no se ha podido realizar una investigación de laboratorio, que permitiría profundizar lo propuesto mediante la realización de pruebas, en base a lo analizado se puede consolidar la nanocelulosa como el principal material sustentable que será usado a futuro.

## Referencias

- Acerosreseller. (2021). *Acerosreseller*.  
Obtenido de  
<https://www.acerosreseller.cl/los-as-colaborantes.php>
- Adobe. (2021). *Adobe*. Obtenido de  
[https://stock.adobe.com/sk/search/images?k=brick+pillar&asset\\_id=242532666](https://stock.adobe.com/sk/search/images?k=brick+pillar&asset_id=242532666)
- Akhlaghi, M. A., Bagherpour, R., & Kalhori, H. (2020). Application of bacterial nanocellulose fibers as reinforcement in cement composites. *Construction and Building Materials*, 241, 118061.
- Amita Sharma, et. al. (2019). Commercial Application of Cellulose Nanocomposites - A review. *Elsevier*.
- Archiexpo. (2021). *Archiexpo*. Obtenido de  
<https://www.archiexpo.com/prod/hess-timber/product-51567-1064215.html>
- Archiexpo. (2021). *Archiexpo*. Obtenido de  
<https://www.archiexpo.es/prod/samer-spa/product-61928-293109.html>
- Argüeso, B. (13 de Marzo de 2019). *Maderea*. Obtenido de  
<https://www.maderea.es/madera-estructural-y-tipos-de-uniones/>
- Arkiplus. (2020). *Arkiplus*. Obtenido de  
<https://www.arkiplus.com/losa-de-ladrillos/>
- Arquitecturaenacero. (16 de Julio de 2015). *Arquitecturaenacero*. Obtenido de  
<http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/uniones-y-conexiones>
- Barnat-Hunek, D. &.-F. (2019). Effect of Eco-Friendly Cellulose Nanocrystals on Physical Properties of Cement Mortars. *Polymers* 11, 11-12.
- Baszynski, P. (19 de Enero de 2019). *Designboom*. Obtenido de  
<https://www.designboom.com/architecture/university-stuttgart-biocomposite-based-parametric-pavilion-01-21-2019/>
- Blaise Tardy, B. D. (2021). Deconstruction and Reassembly of Renewable Polymers and Biocolloids into Next Generation Structured Materials. *Chemical Reviews*.
- Bolduc, L. P. (14 de Agosto de 2017). *Ecohome*. Obtenido de  
<https://www.ecohome.net/guides/1010/how-wood-structures-compare-to-steel-and-concrete/>
- Borregaard. (2021). *Borregaard*. Obtenido de  
<https://www.borregaard.com/markets/construction/applications/concrete/products/exilva/>
- Brink, N. (28 de Junio de 2015). *Designboom*. Obtenido de  
<https://www.designboom.com/design/yunting-lin-nanocellulose->

- fiberboard-recyclable-biodegradable-06-28-2015/
- Bruntland, G. (1987). *Nuestro Futuro Común, Informe Bruntland*. Oxford, Reino Unido: Oxford University Press.
- Bubutu. (2021). *123rf*. Obtenido de [https://es.123rf.com/photo\\_88833136\\_vertido-de-losa-de-hormig%C3%B3n-vertido-de-hormig%C3%B3n-durante-el-hormigonado-comercial-pisos-de-edificios-en-con.html](https://es.123rf.com/photo_88833136_vertido-de-losa-de-hormig%C3%B3n-vertido-de-hormig%C3%B3n-durante-el-hormigonado-comercial-pisos-de-edificios-en-con.html)
- CEAC. (15 de Mayo de 2015). *CEAC*. Obtenido de <https://www.ceac.es/blog/hormigon-armado-flexion-traccion-y-compresion>
- Cellulosefromfinland. (07 de Septiembre de 2016). *Cellulosefromfinland*. Obtenido de <https://cellulosefromfinland.fi/de-sign-explorations-with-cellulosic-materials/>
- Cellulosefromfinland. (12 de Mayo de 2016). *Cellulosefromfinland*. Obtenido de <https://cellulosefromfinland.fi/nanocellulose-filaments-for-composite-reinforcement/>
- Cellulosefromfinland. (23 de Enero de 2018). *Cellulosefromfinland*. Obtenido de <https://cellulosefromfinland.fi/laminated-structures-for-interior-architecture/>
- Cellulosefromfinland. (08 de Febrero de 2018). *Cellulosefromfinland*. Obtenido de <https://cellulosefromfinland.fi/3d-printing-of-cellulose-based-materials-by-nscrypt-method/>
- Cellulosefromfinland. (11 de Enero de 2018). *Cellulosefromfinland*. Obtenido de <https://cellulosefromfinland.fi/casted-wood-experiments-with-wood-dust-and-nano-cellulose/>
- Celluloselab. (2021). *celluloselab*. Obtenido de <https://www.celluloselab.com/our-products/bacterial-cellulose/>
- CEMGUA. (2020). *CEMGUA*. Obtenido de <https://cemgua.com/por-que-endurece-el-cemento/>
- Civilseek. (06 de 2019). *Civilseek*. Obtenido de <https://civilseek.com/properties-of-bricks/>
- Climate-Kic. (2021). *Nordic climate-kic*. Obtenido de <https://nordic.climate-kic.org/success-stories/ioncell-f/>
- CMPC. (12 de Agosto de 2019). *cmpc*. Obtenido de <https://www.cmpc.com/nanocelulosa-el-material-del-futuro/>
- Constructivo. (2020). *Constructivo*. Obtenido de <https://constructivo.com/noticia/como-elaborar-los-morteros-mas-utilizados-en-las-obras-1577369796>

- Construmatica. (22 de Octubre de 2018). *Construmatica*. Obtenido de [https://www.construmatica.com/construpedia/Construcci%C3%B3n\\_de\\_Muros\\_de\\_Hormig%C3%B3n](https://www.construmatica.com/construpedia/Construcci%C3%B3n_de_Muros_de_Hormig%C3%B3n)
- Construmatica. (06 de Agosto de 2021). *Construmatica*. Obtenido de <https://www.construmatica.com/construpedia/Dinteles>
- Cubiertadezinc. (2018). *Cubiertadezinc*. Obtenido de <https://www.cubiertadezinc.es/?s=cuales+son+los+tipos+de+cubierta>
- Dazne, A. (09 de Septiembre de 2015). *Is-arquitectura*. Obtenido de <https://blog.is-arquitectura.es/2015/09/09/material-ecologico-de-fibra-de-nanocelulosa/>
- DiCYT. (27 de Enero de 2017). *Iresiduo*. Obtenido de <https://iresiduo.com/noticias/argentina/dicyt/17/01/27/cemento-nanocelulosa-bacteriana-futuro-pozos-extraccion-petroleros>
- Dietrich Buck, O. H. (2018). Compressed angled CLT. *Bioresources*, 4029-4045.
- Dominic, M., Joseph, R., Begum, P. S., Kanoth, B. P., Chandra, J., & Thomas, S. (2020). Green tire technology: Effect of rice husk derived nanocellulose (RHNC) in replacing carbon black (CB) in natural rubber (NR) compounding. *Carbohydrate polymers*, 230, 115620.
- Du, X., Zhang, Z., Liu, W., & Deng, Y. (2017). Nanocellulose-based conductive materials and their emerging applications in energy devices-A review. *Nano Energy*, 35, 299-320.
- Ebawe. (2021). *Ebawe*. Obtenido de <https://www.ebawe.de/es/aplicaciones/piezas-prefabricadas-de-construccion/pilares-y-travesanos>
- Edificacionesdinamicas. (2021). *Edificacionesdinamicas*. Obtenido de <https://edificacionesdinamicas.com/tipos-de-techumbre-metalica/>
- Efideck. (15 de Noviembre de 2017). *Efideck*. Obtenido de <http://efideck.com/conoces-los-beneficios-las-cubiertas-metal/>
- Exilva. (2016). *Exilva*. Obtenido de <https://www.exilva.com/blog/whats-is-microfibrillated-cellulose-mfc>
- Franco, C. (18 de Junio de 2011). *Slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/sena181309/resistencia-mecanica-de-los-materiales-8346485>
- Franco, J. T. (07 de Junio de 2013). *Plataformaarquitectura*. Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-267534/en-detalle-reconstruccion-en-albanileria-de-la-cupula-de-la-iglesia-parroquial->

- de-valverde-de-los-arroyos-julio-jesus-palomino
- Gagg, C.R. (2014) Cement and Concrete as an Engineering Material: An Historic Appraisal and Case Study Analysis. *Engineering Failure Analysis*, 40, 114-140.
- Gan, P. G., Sam, S. T., Abdullah, M. F. B., & Omar, M. F. (2020). Thermal properties of nanocellulose-reinforced composites: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(11), 48544.
- García, A., Gandini, A., Labidi, J., Belgacem, N., & Bras, J. (2016). Industrial and crop wastes: A new source for nanocellulose biorefinery. *Industrial Crops and Products*, 93, 26-38.
- Gerdaucorsa. (2021). *Gerdaucorsa*. Obtenido de <https://www.gerdaucorsa.com.mx/articulos/cimentacion-para-estructuras-de-acero>
- González, C. (19 de Abril de 2021). *Homify*. Obtenido de [https://www.homify.com.mx/libros\\_de\\_ideas/7880566/los-5-tipos-de-losa-mas-empleados-en-el-sistema-de-construccion](https://www.homify.com.mx/libros_de_ideas/7880566/los-5-tipos-de-losa-mas-empleados-en-el-sistema-de-construccion)
- González, J. (21 de Junio de 2014). *plataformaarquitectura*. Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/623150/pabellon-ergonomico-construido-con-costillas-de-mdf>
- Hafez, I., & Tajvidi, M. (2020). Laminated Wallboard Panels Made with Cellulose Nanofibrils as a Binder: Production and Properties. *Materials*, 13(6), 1303.
- Hebosteel. (2021). *Hebosteel*. Obtenido de <http://www.hebosteel.com/steel-parts/steel-column/structural-steel-columns.html>
- Hisseine, O., Soliman, N., Tolnai, B., & Tagnit-Hamou, A. (2020). Nano-engineered ultra-high performance concrete for controlled autogenous shrinkage using nanocellulose. *Cement and Concrete Research*, 137, 106217.
- Hisseine, O., & Tagnit-Hamou, A. (2020). Nanocellulose for ecological nanoengineered strain-hardening cementitious composites incorporating high-volume ground-glass pozzolans. *Cement & Concrete Composites*, 112, 103662
- Hyung-Joo Lee, et. al. (2019). A Study on the Drying Shrinkage and Mechanical Properties of Fiber Reinforced Cement Composites Using Cellulose Nanocrystals. *International Journal of Concrete Structures and Materials* 13, 39.
- Ideas2cycles. (01 de Septiembre de 2018). *Ideas2cycles*. Obtenido de <http://ideas2cycles.com/prototipos/nanocellulose-bicycle/>
- IEA. (Octubre de 2018). *IEA*. Obtenido de <https://www.iea.org/data-and->

- statistics/data-product/world-energy-balances#energy-balances
- Ingenieria.uchile. (17 de Diciembre de 2013). *Ingenieria.uchile*. Obtenido de Hormigón sustentable: Una nueva mirada a los materiales de construcción: <http://ingenieria.uchile.cl/noticias/97524/hormigon-sustentable-nueva-mirada-a-los-materiales-de-construccion>
- Ingenieriaquimica. (23 de Junio de 2020). *Ingenieriaquimica*. Obtenido de <https://www.ingenieriaquimica.net/articulos/455-como-se-produce-la-nanocelulosa>
- Ingenierosasesores. (07 de Julio de 2021). *Ingenierosasesores*. Obtenido de <https://ingenierosasesores.com/actualidad/tipos-de-forjados-y-sus-caracteristicas/>
- I-vasic. (15 de Mayo de 2020). *I-vasic*. Obtenido de <https://www.i-vasic.com/noticias/la-boveda-tabicada/>
- Joo-Hyung Kim, B. S. (2015). Review of Nanocellulose for Sustainable Future Materials. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 197-213.
- Kalhuri, H., & Bagherpour, R. (2017). Application of carbonate precipitating bacteria for improving properties and repairing cracks of shotcrete. *Construction and Building Materials*, 148, 249-260.
- Kukic, S. (30 de Julio de 2021). *Canam*. Obtenido de <https://www.canam-construction.com/en/article/steel-construction-compared-to-concrete-and-wood-which-is-best/>
- Liu, C., Li, B., Du, H., Lv, D., Zhang, Y., Yu, G., ... & Peng, H. (2016). Properties of nanocellulose isolated from corncob residue using sulfuric acid, formic acid, oxidative and mechanical methods. *Carbohydrate polymers*, 151, 716-724.
- Macusa. (2021). *Macusa*. Obtenido de [https://www.macusa.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=91&Itemid=236&lang=es](https://www.macusa.es/index.php?option=com_content&view=article&id=91&Itemid=236&lang=es)
- Madera21. (26 de Agosto de 2016). *Madera21*. Obtenido de <https://www.madera21.cl/blog/2016/08/26/los-cinco-sistemas-constructivos-en-madera-mas-utilizados/>
- Madera21. (25 de Junio de 2019). *Madera21*. Obtenido de <https://www.madera21.cl/blog/project-view/setas-de-sevilla-metropol-parasol/>
- Madera21. (15 de Abril de 2020). *Madera21*. Obtenido de <https://www.madera21.cl/blog/2020/04/15/vigas-i-joist-ingenieria-en-madera-producida-en-chile/>

- Maderasllamazares. (2021). *Maderasllamazares*. Obtenido de <https://www.maderasllamazares.es/estructuras-y-cubiertas-de-madera/>
- Materials. (28 de Agosto de 2018). *plataformaarquitectura*. Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/919875/revestimientos-de-madera-para-paredes-y-muebles-interiores-como-elegirlos>
- Materialstoday. (22 de Mayo de 2019). *Materialstoday*. Obtenido de <https://www.materialstoday.com/biomaterials/news/new-nanocellulose-foam-insulates/>
- Medina, M. S. (23 de Febrero de 2021). *Madera21*. Obtenido de <https://www.madera21.cl/blog/2021/02/23/nanocelulosa-el-material-del-futuro-donde-la-madera-y-el-papel-son-protagonistas/>
- Mendoconstruccion. (2021). *Mendoconstruccion*. Obtenido de <https://www.mendoconstruccion.com/forjados>
- Miliarium. (14 de Noviembre de 2010). *Miliarium*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/55865058/Propiedades-termicas-de-mater>
- M.M. Mleziva, J. W. (2012). Polymer Science: A Comprehensive Reference, *Elsevier Science*, 397-410.
- Mohd Nor Faiz Norrahim, N. A. (2021). Nanocellulose: the next super versatile material for the military. *Materials Advances*.
- Montenegroexpersa. (27 de Noviembre de 2017). *Montenegroexpersa*. Obtenido de <https://montenegroexpersa.com/pilotes-todo-sobre-ellos/>
- Mtcopeland. (02 de julio de 2020). *Mtcopeland*. Obtenido de <https://mtcopeland.com/blog/five-building-materials-commonly-used-in-construction/>
- Nationalpilecroppers. (2021). *Nationalpilecroppers*. Obtenido de <https://www.nationalpilecroppers.com/news/what-are-some-common-uses-for-precast-concrete-piles/>
- Nelson, K., Retsina, T., Iakovlev, M., van Heiningen, A., Deng, Y., Shatkin, J. A., & Mulyadi, A. (2016). American process: production of low cost nanocellulose for renewable, advanced materials applications. In *Materials research for manufacturing* (pp. 267-302). Springer, Cham.
- Ng, H. M., Sin, L. T., Bee, S. T., Tee, T. T., & Rahmat, A. R. (2017). Review of nanocellulose polymer composite characteristics and challenges. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 56(7), 687-731.



- Norrrahim, M. N. F., Kasim, N. A. M., Knight, V. F., Ujang, F. A., Janudin, N., Razak, M. A. I. A., ... & Yunus, W. M. Z. W. (2021). Nanocellulose: the next super versatile material for the military. *Materials Advances*.
- Ousmane, e. a. (2019). Nanocellulose for improved concrete performance: A macro-to-micro investigation for disclosing the effects of cellulose filaments on strength of cement systems. *Construction and Building materials*, 84-96.
- P. Chana, "Low carbon cements: the challenges and opportunities," in Proc. Future Cement Conf. & exhibition, London, February 8-9, pp. 1-7, 2011.
- Peñalver, F. (02 de Marzo de 2018). *publimetro*. Obtenido de <https://www.publimetro.cl/cl/noticias/2018/03/02/nanotecnologia-impulsara-desarrollo-economico-chile-sxxi.html>
- Pereira, M. (31 de Mayo de 2018). *Plataformaarquitectura*. Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/895405/cascaras-de-hormigon-principios-de-diseno-y-ejemplos-construidos>
- Pfenniger, F. (15 de Agosto de 2015). *Arquitecturaenacero*. Obtenido de <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/grandes-y-medianas-luces-en-acero>
- Plataformaarquitectura. (2021). *Plataformaarquitectura*. Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/catalog/cl/products/13817/teja-colonial-chilena-para-cubiertas-ceramicas-toro>
- Podlena, M., Böhm, M., Saloni, D., Velarde, G., & Salas, C. (2021). Tuning the Adhesive Properties of Soy Protein Wood Adhesives with Different Coadjutant Polymers, Nanocellulose and Lignin. *Polymers*, 13(12), 1972.
- Pulido, e. a. (2016). Obtención y caracterización de nanocelulosa a partir de tule (*Typha domingensis*). *Revista de Energía Química y Física*, 31-37.
- Rowell, Roger M., "Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites" (Boca Raton: CRC Press, 06 sep 2012), *Routledge Handbooks Online*
- Robin H A Ras, X. T. (2017). Superhydrophobic and Superoleophobic Nanostructured. En *Handbook of Nanocellulose and Cellulose Nanocomposites*. Wiley.
- Santalla, L. (29 de Septiembre de 2019). *Teoriadeconstruccion*. Obtenido de <https://teoriadeconstruccion.net/blog/forjado-sanitario-con->

- viguetas-autorresistentes-y-patologias-asociadas/
- Sanz, A. (2014). *eii.uva*. Obtenido de Tecnología de la celulosa. La industria papelera: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>
- Sarker, M. (2015). Cellulosic nanocomposites from natural fibers for medical applications: a review.
- Seyed Meysam Khoshnava, e. a. (2020). The Role of Green Building Materials in Reducing Environmental and Human Health Impacts. *Int J Environ Res Public Health Vol 17*.
- Skyciv. (13 de Febrero de 2019). *Skyciv*. Obtenido de <https://skyciv.com/es/technical/s-teel-vs-timber-vs-concrete/>
- Soto, C. (18 de Mayo de 2021). *latercera*. Obtenido de <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/chile-ya-entro-en-sobregiro-ecologico-fue-un-dia-antes-que-en-2020-y-es-el-primer-pais-de-latinoamerica/N4EHWXQWYVCXF IJN5ZKRJ6HSGE/>
- Structuralia. (20 de Noviembre de 2020). *Structuralia*. Obtenido de <https://blog.structuralia.com/arriostramientos>
- Suomi, K. (04 de Septiembre de 2019). *Yle*. Obtenido de <https://yle.fi/uutiset/3-10952464>
- Theconstructor. (08 de Diciembre de 2016). *Theconstructor*. Obtenido de <https://theconstructor.org/building/properties-of-building-materials-construction/14891/>
- Uestatales. (18 de Julio de 2017). *uestatales*. Obtenido de <http://www.uestatales.cl/cue/?q=node/5529>
- UMACON. (28 de Marzo de 2021). *UMACON*. Obtenido de <http://www.umacon.com/noticia.php/es/que-es-el-cemento-portland-tipos-y-caracteristicas/413>
- Umaine. (08 de Mayo de 2018). *Umaine*. Obtenido de <https://umaine.edu/news/blog/2018/05/08/tajvidi-awarded-250000-develop-next-generation-cnf-floor-wall-products/>
- Umaine. (26 de Octubre de 2020). *umaine.edu*. Obtenido de <https://umaine.edu/nanocellulosevalley/2020/10/26/revolutionizing-construction-materials/>
- UNFCCC. (26 de Abril de 2021). *UNFCCC*. Obtenido de <https://unfccc.int/blog/building-blocks>
- Valerii A. Barbash, O. V. (2019). Preparation and Properties of Nanocellulose from *Miscanthus x giganteus*. *Journal of Nanomaterials*, 1-8.

Wensheng Lin, X. H. (2018). Hydrophobic Modification of Nanocellulose via a Two-Step Silanation Method. 2-12.

Yang, X., Han, F., Xu, C., Jiang, S., Huang, L., Liu, L., & Xia, Z. (2017). Effects of preparation methods on the morphology and properties of nanocellulose (NC) extracted from corn husk. *Industrial Crops and Products*, 109, 241-247.

Zola, C. (31 de Diciembre de 2017). *Herculite*. Obtenido de <https://www.herculite.com/blog/how-to-source-environmentally-friendly-building-materials>

## 9. ANEXO

### Anexo 1.

#### Entrevista realizada a Pablo Ignacio Reyes Contreras:

1. ¿Qué diferencia a la nanocelulosa de otros nanomateriales?

La nanocelulosa a diferencia de otros nanomateriales, puede producirse a partir de fuentes renovables (biomasa agroforestal). En su estructura también se encuentran elementos diferenciadores, como lo es la relación de aspecto (largo por ancho), la cual es tubular facilitando su uso como refuerzo en distintas matrices, la presencia de grupos OH en la superficie de la nanocelulosa permite realizar modificaciones químicas que facilitan su dispersión en distintas matrices.

2. ¿Es posible la aplicación de la nanocelulosa como material resistente estructuralmente? y de ser así cuál sería un posible formato de aplicación?

Por si sola la nanocelulosa no podría actuar como un material de refuerzo, ya que la mayoría de esta se produce en un medio acuoso que dificulta su uso. Se puede secar pero suele quedar como una especie de talco que no tiene resistencia, si o si debe actuar como un refuerzo, de otra matriz superior que soporte la construcción. En el caso de la construcción, se ha visto que puede actuar como modificador reológico en mezclas de concreto, cubriendo también microfisuras que se producen en la hormigón.

3. En el caso de tenso estructuras ¿es factible su elaboración manteniendo como material principal la nanocelulosa?

Como material único no, siempre reforzando otra estructura (madera, hormigón, etc)

4. ¿Cuál es el estado del arte de este nanomaterial en Chile?

En Chile si se produce nanocelulosa, las empresas papeleras (CMPC, ARAUCO) lo utilizan como material de refuerzo en sus procesos de producción de papeles y cartones, siempre considerando consumo interno no venta directa a terceros. Luego vienen las universidades y centros de investigación, que producen nanocelulosa para uso de investigación y desarrollos internos.

En Chile están las condiciones, el equipamiento y los RRHH para producir nanocelulosa, lo que ahora se necesita es un mercado que impulse su uso a mayor escala y que no solo cubra las necesidades internas de las distintas empresas.

5. ¿Se estima algún plazo de tiempo en que el uso y distribución de la nanocelulosa sea de carácter industrial?



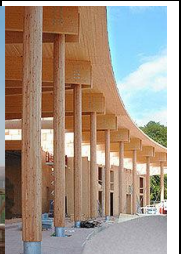

En Chile si se produce a nivel industrial, pero no es conocida esta información para todos. Como te comente las empresas papeleras utilizan en su consumo interno con distintos volúmenes, pero no necesariamente informan que lo utilizan.







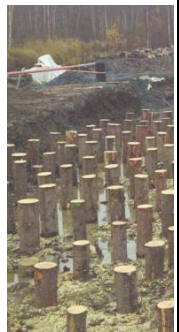
6. ¿A qué tipo de usos/ áreas de estudio se está enfocando su investigación?

Actualmente trabajamos en el refuerzo de materiales termoplásticos como el PLA, para mejorar sus propiedades barreras oxígeno y agua principalmente. Otra línea de investigación es el desarrollo de materiales porosos a partir de Nanocelulosa para la filtración de agua y eliminación de contaminantes (metales) o bien hidrogeles que retengan agua para la agricultura.




## Anexo 2.







Cuadro comparativo de formatos:

ELEMENTOS ESTRUCTURALES	FORMATO SEGÚN MATERIALES				
Estructuras verticales	Acero	Hormigón	Madera	Modulos arcilla cocida	Nanocelulosa
<b>Pilares/ Columnas</b>	Pilares: perfiles laminares de sección H. Circulares tubulares	Pueden encontrarse rectangulares como redondos	Formato rectangular, macizo. Sección rectangular, pilares de madera maciza y laminada	Albañilería de ladrillos, columna, similar al hormigón armado	-
Imágenes					-
Referencias	Columnas estructurales de acero. Obtenido	Pilares de hormigón. Obtenido de Ebawe (2021)	Pilares de madera. Obtenido de archiexpo	Pilares de ladrillo. Obtenido de stock.adobe	-







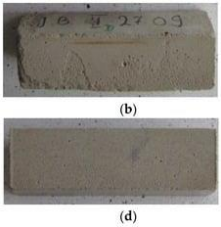
	de hebosteel (2021)				
<b>Muros/Paredes de carga</b>	-	Macizo, espesor promedio 0,2m	Placa Maciza CLT, paneles SIP	Formato rectangular, sólido Albañilería	Uso de CNF como un aglutinante ecológico para paneles de aglomerado resistentes
Imágenes	-				
Referencia	-	Muro de hormigón, obtenido de construmatica (2018)	Paredes de madera. Obtenido de plataformaarquitectura	Muro de ladrillos. Obtenido de solucionesespeciales	Panel de nanocelulosa. Obtenido de Isarquitectura (2015)
<b>Pilotes</b>	Pilotes con acero en sección H, sección tubular	Hormigón combinado con acero	Formas cilíndricas o prismáticas		-
Imágenes					-
Referencias	Cimentación con pilotes de acero. Obtenido de gerdaucorsa	Pilotes de hormigón. Obtenido de nationalpilecoopers	Pilotes de madera. Obtenido de researchgate		-
<b>Estructuras horizontales</b>	<b>Acero</b>	<b>Hormigón</b>	<b>Madera</b>	<b>Modulos arcilla cocida</b>	<b>Nanocelulosa</b>
<b>Vigas</b>	Perfiles estructurales UPN, IPN, IPE, HEB, HEA, HEM	Vigas pre-potensadas, in situ de sección rectangular	Secciones de madera natural O laminada Armada	-	--










Imágenes				-	-
Referencia	Vigas de acero. Obtenido de CMIC	Vigas de Hormigón armado. Obtenido de archiexpo	Vigas de madera. Obtenido de Madera21	-	-
<b>Losa</b>	Losa colaborante con chapa de acero nervada inferior apoyada sobre un envigado. Además de perfiles metálicos	Hormigón vertido que completa la losa. Lámina, placa de hormigón	-	Ladrillos huecos combinados con las viguetas o vigas pretensadas de hormigón	--
Imágenes			-		-
Referencia	Losa Colaborante. Obtenido de acerosreseller	Vertido de losa de hormigón. Obtenido de 123rf	-	Loseta de ladrillos. Obtenido de arkiplus (2021)	-
<b>Forjado Viguetas/ Bovedilla</b>	Envigado de acero	Placa plana de hormigón, Losetas	Envigados de madera y Tablero de madera	Bovedas de albañilería de ladrillos	-
Imágenes					-
Referencia	Forjado con viguetas autorresistente	Forjado de hormigón. Obtenido de	Forjado de madera.	Bóveda de ladrillo. Obtenido de	-

	s. Obtenido de teoriadeconstruccion (2019)	Mendoconstruccion	Obtenido de Macusa	plataformaarquitectura (2021)	
<b>Estructuras Diagonales</b>	<b>Acero</b>	<b>Hormigón</b>	<b>Madera</b>	<b>Módulos de arcilla cocida</b>	<b>Nanocelulosa</b>
<b>Arriostramiento</b>	Perfiles y cables de acero	-	Secciones macizas de madera	-	-
Imágenes					-
Referencia	Estructura de acero. Obtenido de arqhys (2012)		Estructura de madera. Obtenido de artículo CLT comprimido en ángulo (2018)		-
<b>Estructuras Curvas</b>	<b>Acero</b>	<b>Hormigón</b>	<b>Madera</b>	<b>Módulos de arcilla cocida</b>	<b>Nanocelulosa</b>
<b>Arcos / curvas</b>	Perfiles de acero, armaduras reticuladas	Cáscaras de hormigón	Madera laminada	Bóveda y cupulas de albañilería	-
Imágenes					-
Referencia	Multicancha del estadio español, Teodoro Fernández. Obtenido de arquitecturaenacero	Capilla Bosjes / Steyn Studio. Obtenido de plataformaarquitectura	Metropol Parasol. Setas de Sevilla. Obtenido de madera21	Bóveda tabicada. Obtenido de I-VASIC (2020)	-
<b>Techumbre</b>	<b>Acero</b>	<b>Hormigón</b>	<b>Madera</b>	<b>Módulos de arcilla</b>	<b>Nanocelulosa</b>



<b>Techumbre</b>	Tipo sandwich, autoportante y simple. Vigas en celosía, armadura, cerchas	Actúa como losa de hormigón	Secciones de madera como sistema de vigas y viguetas. Además de formato laminar, placa. Cerchas.	Bóveda, cúpula	-
<b>Imágenes</b>					-
<b>Referencia</b>	Cubierta de acero. Obtenido de Efideck (2015)	Techumbre de hormigón. Obtenido de vintageandchicblog (2019)	Cubierta de madera. Obtenido de maderasllamazares	Cúpula de la Iglesia Parroquial de Valverde de Los Arroyos. Obtenido de plataformaarquitectura	-
<b>Refuerzo</b>	<b>Acero</b>	<b>Hormigón</b>	<b>Madera</b>	<b>Módulos de arcilla</b>	<b>Nanocelulosa</b>
<b>Tipo de refuerzo</b>	Barras de refuerzo, perfiles tubulares, armadura, malla.	-	-	Uso de mortero para refuerzo /unión de ladrillos	Uso como refuerzo en concreto/hormigón y paneles de madera
<b>Imágenes</b>		-	-		
<b>Referencia</b>	Acero de refuerzo. Obtenido de Construyendoseguro (2020)	-	-	Uso de mortero en albañilería. Obtenido de Bricolaje	Como mortero de concreto. Obtenido de MDPI (2019)

Sistemas de uniones	Acero	Hormigón	Madera	Módulos de arcilla	Nanocelulosa
<b>Unión</b>	Placas de acero, pernos, tornillos, roblones, soldadura	Uniones continuas, elemento mololítico o a través de placas metálicas	Tarugos, uniones carpinteras	Mortero de cal	(posible aplicación en pequeños formatos de nanocelulosa en tarugos por ejemplo)
Imágenes					-
Referencia	Uniones y conexiones en acero. Obtenido de arquitectura en acero (2015)	Unión empotrada en estructura de concreto. Obtenido de artchist (2020)	Uniones en madera. Obtenido de maderea (2019)	Unión de ladrillos. Obtenido de RPP (2018)	-
<b>Adhesivo</b>	-	Morteros de pega, cemento	-	Mortero de cal	En formato de aerogel para paneles de madera. Además como aditivo en concreto
Imágenes	-		-		
Referencia	-	Mortero de cemento. Obtenido de constructivo (2020)	-	Mortero de cal. Obtenido de tablarocaplaya (2019)	Uso de nanocelulosa (MFC) como aditivo en mortero. Obtenido de borregaard (2021)