

Producción y caracterización de productos nanocelulósicos

Breve descripción

Las **nanocelulosas** son biomateriales derivados de la celulosa, cuyas dimensiones se encuentran en la escala nanométrica (<100 nanómetros en al menos una dimensión). Gracias a su estructura nanométrica y a su naturaleza celulósica, presentan **propiedades excepcionales** (Figura 1), entre las que destacan su alta resistencia mecánica, elevada superficie específica, buena estabilidad térmica o su gran reactividad química.



Figura 1. Propiedades de las nanocelulosas

¿Cómo funciona?

El término nanocelulosa incluye diferentes materiales nanoestructurados de celulosa: celulosa micro/nanofibrilada (CMF/CNF), celulosa nanocristalina (CNC), celulosa bacteriana (CB) y hairy nanocelulosa (Figura 2).

- **Celulosa microfibrilada:** obtenida por tratamientos mecánicos intensos de refinado y desestructuración.
- **Celulosa nanofibrilada:** se produce por desfibrilación mecánica por homogeneización a alta presión, a menudo precedida por pretratamientos enzimáticos, químicos (oxidación catalizada con TEMPO), o mecánicos (refinado).
- **Celulosa nanocristalina:** se obtiene mediante hidrólisis ácida, normalmente con ácido sulfúrico, eliminando las regiones amorfas de la celulosa y dejando intactas las regiones cristalinas.
- **Celulosa bacteriana:** biopolímero producido por bacterias del género Komagataeibacter, como Komagataeibacter xylinus, a través de un proceso de biosíntesis extracelular. La CB puede ser sintetizada en cultivo agitado (formando agregados de celulosa) o estáticos (formando membranas).
- **Hairy nanocelulosa:** celulosa nanocristalina estéricamente estabilizada, se obtiene mediante oxidación con peryodato seguida por un tratamiento térmico a 80 °C.



Figura 2. Tipos de nanocelulosas



¿Qué problema resuelve?

Las nanocelulosas son productos de refuerzo, modificadores reológicos, biomateriales con numerosas aplicaciones en diversos sectores industriales. Para la óptima implementación de las celulosas es necesario desarrollar **nanoproductos fit-for-use de las características óptimas para cada aplicación**. Para ello las nanocelulosas se caracterizan considerando:

- **Técnicas de microscopía:** microscopía electrónica de barrido (SEM) o de transmisión (TEM) y la microscopía de fuerza atómica (AFM), para determinar las dimensiones de los materiales nanocelulósicos.
- **Carga aniónica o catiónica:** potencial zeta y demanda catiónica (en el caso de que las CMF/CNF o CNC hayan sido modificadas).
- **Transmitancia:** está relacionada con la transparencia de los nanomateriales celulósicos. La presencia de impurezas y agregados producen una absorción de luz, reduciendo de este modo el valor de transmitancia, por lo tanto, este parámetro da información sobre la nanofibrilación y permite controlar el proceso de producción.
- **Rendimiento de nanofibrilación:** indica el porcentaje de materia nanofibrilada que está presente en la suspensión. Para su determinación se lleva a cabo la centrifugación de la suspensión diluida de CNF, para separar el material nanofibrilado (en el sobrenadante) de la parte no fibrilada o parcialmente fibrilada (el sedimento).
- **Grado de polimerización (GP):** relacionado con el número de veces que se repite la unidad monomérica de glucosa, en la cadena polimérica celulosa. Se determina a partir del método de la viscosidad límite utilizando como disolvente una disolución de cuprietilendiamina (CED) conforme a la norma ISO 5351. Una vez conocida la viscosidad límite de la suspensión diluida de CNF es posible determinar el GP considerando diferentes ecuaciones empíricas, que relacionan ambos parámetros.
- **Grupos carboxilos y aldehídos:** cuando las fibras se someten a un pretratamiento de oxidación, por ejemplo catalizada con TEMPO o con peryodato sódico, es importante determinar la cantidad de grupos carboxilos y aldehídos presentes en las pastas oxidadas, ya que el grado de oxidación alcanzado tiene un fuerte impacto en el proceso de homogeneización posterior, así como en las propiedades finales de las CNF.
- **Punto de gel:** se utiliza en la estimación de la relación de aspecto de las nanofibras (longitud/diámetro) y se define como la concentración volumétrica más baja en la que todas las fibras de la suspensión están interconectadas formando una red autosoportada.
- **Grado de dispersión de la nanocelulosa:** se calcula en función del punto de gel y hay que optimizarlo para cada aplicación.
- **Otras técnicas:** difracción de Rayos X (DRX), permite obtener información sobre el grado de cristalinidad y éste va a ser importante en el caso de la CNC y Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), permite identificar grupos funcionales lo que es de suma importancia si estamos funcionalizando la nanocelulosa

¿Qué productos futuros resultarán?

Las aplicaciones de las nanocelulosas incluyen **sectores industriales con alto volumen de producción y sectores de alto valor añadido**. La nanocelulosa se utiliza mayoritariamente como **nanofibras de refuerzo**, por ejemplo, en la fabricación de papel y cartón, materiales de construcción y materiales poliméricos. Son **modificadores reológicos** con aplicación en pinturas y recubrimientos, cosméticos, alimentos y tintas para impresión 3D. Además, se están desarrollando aplicaciones en el sector del tratamiento de aguas (como **biofloculante y bioadsorbente**), en biomedicina en **ingeniería de tejidos**, como sistemas de **liberación controlada de fármacos y de fertilizantes**, como **aerogeles** para aislantes térmicos y acústicos, etc.



Ventajas competitivas frente a otras investigaciones

El enfoque *fit for use* permite ajustar la calidad a cada aplicación específica. Se pueden obtener ventajas competitivas ajustando parámetros críticos para las distintas aplicaciones y optimizando los procesos de obtención.

- Se ha demostrado que se pueden utilizar nanocelulosas poco fibriladas, de bajo coste, para muchas aplicaciones.
- Se controla la transparencia en función del tamaño de partícula y el grado de fibrilación para CNF; o de los días de cultivo en el caso de CB.
- El control de la relación de aspecto: permite optimizar la resistencia y las propiedades barrera.
- El grado de funcionalización superficial aumenta la compatibilidad con matrices poliméricas y/o la hidrofobicidad. Se pueden crear materiales más ligeros, sostenibles y de alto rendimiento, competitivos frente a alternativas como fibras de carbono, nanopartículas sintéticas o aditivos convencionales.
- Pureza y biocompatibilidad: permite el uso en aplicaciones biomédicas.

¿Dónde se ha desarrollado?

El grupo de Celulosa, Papel y Tratamientos Avanzados de Aguas cuenta con una amplia y consolidada trayectoria en la línea de investigación relacionada con la producción, caracterización y aplicación de nanocelulosas. A lo largo de los últimos años, ha participado activamente en numerosos proyectos de investigación competitivos a nivel nacional (CTQ2012-36868, CTQ2013-48090, CTQ2017-85654, PID2020-113850RB-C21, PCD2021-120964-C21, PID2023-147456OB-C22) y ha desarrollado numerosas tesis doctorales, lo que refleja su liderazgo y capacidad de innovación en este campo. Esta labor investigadora se complementa con una estrecha colaboración con otros centros de investigación y empresas del sector, lo que permite una transferencia efectiva del conocimiento generado hacia aplicaciones industriales de alto valor añadido.

Y además...

A partir de los hidrogeles de nanocelulosa se pueden obtener otras estructuras como aerogeles mediante liofilización ampliando las potenciales aplicaciones de la nanocelulosa a numerosos sectores industriales.

Responsable de la investigación

Carlos Manuel Negro Álvarez, cnegro@ucm.es; **María Ángeles Blanco Suárez**, ablanco@ucm.es

Departamento: **Ingeniería Química y Materiales. Grupo de Celulosa, Papel y Tratamiento Avanzado de Aguas**

Facultad: **Ciencias Químicas**