



ISTOCK

# Por Qué el Papel Prospera En un Mundo Digital

Por Steven Keller

Incluso cuando los libros de texto electrónicos y el correo electrónico reemplazan a algunas de sus contrapartes en papel, el papel en su forma física todavía está en todas partes. Lo puedes encontrar en casi todas las habitaciones de la casa, en tu escuela y donde trabajas y juegas.

De hecho, puede ser difícil encontrar un lugar donde no encuentres papel, excepto quizás el bosque donde obtenemos materias primas para el papel. Incluso entonces, un mapa en papel sería útil si te alejas del rango de la señal GPS de tu teléfono.

Aunque el papel se ha vuelto esencial en la vida cotidiana, sus propiedades no son bien conocidas. Sin embargo, son las que hacen del papel el camaleón de los materiales. Puede ser limpio y brillante para nosotros escribir notas, lo suficientemente resistente como para formar cajas de envío, y lo suficientemente suave y absorbente para limpiar nuestras narices con éste.

Sorprendentemente, por la amplia gama de características útiles que exhibe el papel, la composición de la mayoría del papel es esencialmente la misma: fibras derivadas de árboles.

En el núcleo de la versatilidad del papel están las fibras que tienen fuerza, flexibilidad y la capacidad de unirse la una a la otra. La mayoría de los papeles que encontramos

a diario, como el papel de la impresora, las cajas de cartón marrón, las toallas de papel, o los pañuelos faciales, son conjuntos de fibras que son casi enteramente compuestos de azúcares referidos como holocelulosa. La holocelulosa incluye la celulosa de polímero de cadena larga, y una variedad de hemicelulosas que son más cortas y pueden estar ramificadas.

Es la **celulosa** en particular la responsable de las propiedades del papel que valoramos. La celulosa, el polímero natural más abundante, también da “primos lejanos” del papel—textiles de algodón tejidos como camisetas y los pantalones de mezclilla azules—la durabilidad, la comodidad y la absorción del agua que buscamos en la ropa.



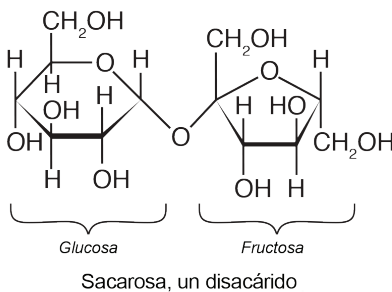
## ¿Árboles y Papel Están Hechos de Azúcares?

¿Quién no ama una golosina azucarada: una rebanada de pastel de chocolate o una cucharada de helado? ¿Pero, qué son los azúcares? ¿Y, por qué están en nuestro papel?

Para responder a esa pregunta, comencemos mirando a la categoría más grande de moléculas en la que el azúcar cae: los carbohidratos.

» Los **carbohidratos** son una categoría de biomoléculas que incluye azúcares, almidones y fibras. Ellos almacenan energía, proporcionan estructura, y se encuentran naturalmente en frutas, raíces, granos, tallos de plantas, y madera.

» Los **monosacáridos**, o azúcares simples, son los carbohidratos más simples. Ellos incluyen glucosa y fructosa.



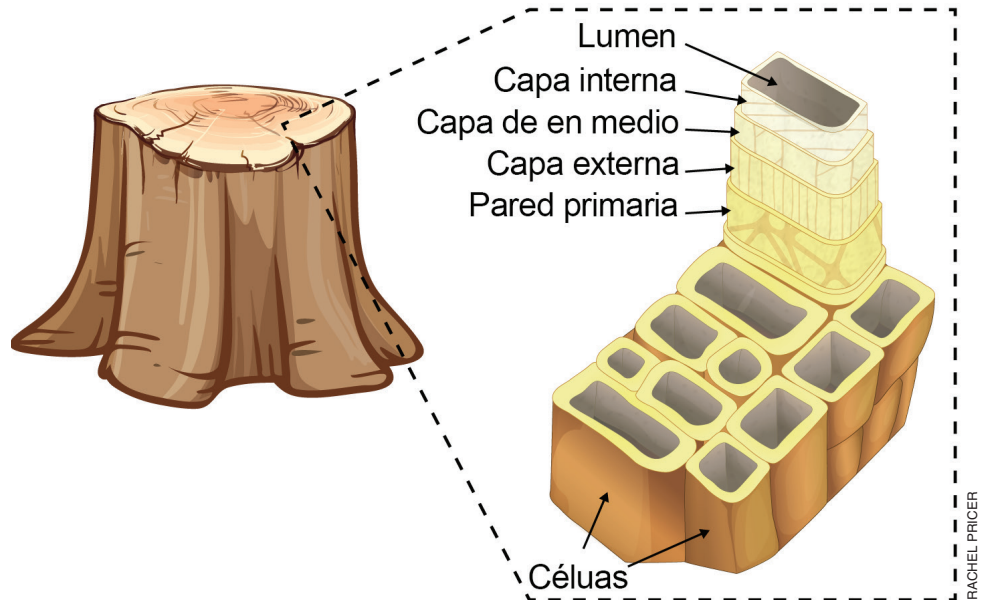
» Los **disacáridos** están hechos de dos monosacáridos unidos. La sacarosa, o **azúcar de mesa**, es un ejemplo. Ésta consiste de una molécula de glucosa unida a una molécula de fructosa.

» Los **polisacáridos** tienen tres o más monosacáridos unidos.

La **celulosa**, por ejemplo, consiste de cientos a miles de unidades de glucosa repetidas. Es un componente importante de las plantas—y también, ¡una parte importante de fibra dietética!

— CM

ESTRUCTURAS: RS GRAPHX INC.



» **FIGURA 1.** Las paredes celulares de los árboles están compuestas por múltiples capas de microfibrillas, que están hechas de celulosa.

## Fuerte, pero no demasiado fuerte

Para entender cómo estas fibras naturales son utilizadas en papel, tenemos que echar un vistazo a su estructura. Las fibras de madera generalmente vienen en dos longitudes. Las fibras más largas de maderas blandas, que provienen de árboles de hoja perenne, son de 3 a 5 milímetros (mm) de largo. Se utilizan para reforzar el papel, por lo que puede soportar ser separadas o desgarradas. Las fibras de madera dura—que provienen de árboles de hoja caduca, del tipo que pierden sus hojas todos los años—por lo general son mucho más cortos en aproximadamente 1.2 mm de longitud media. Se utilizan para llenar en los huecos y hacer el papel suave. Ambas, las fibras de madera dura y las de madera blanda usualmente tienen anchos de menos que un cabello humano, que mide unos 50 micrómetros de ancho.

Una mirada aún más cercana nos muestra que la química y la microestructura de las fibras de madera son importantes para la resistencia y flexibilidad del papel. En primer lugar, las

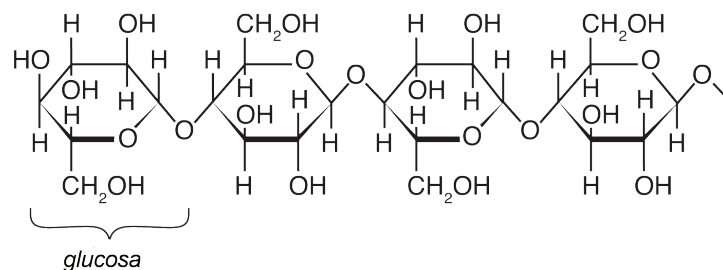
cadenas poliméricas largas de celulosa, que tienen alrededor de 10,000 unidades de glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ), el hidrógeno se enlaza a cada una y forma regiones cristalinas, fuertes y rígidas. Estos componentes estructurados están conectados a las regiones flexibles, desestructuradas.

Las largas y delgadas hebras de celulosa conectadas forman lo que se llaman **microfibrillas**. Dentro de los árboles y otras plantas, se encuentran las microfibrillas en las paredes celulares de las plantas. Las paredes celulares están compuestas de muchas capas de estas microfibrillas que están envueltas alrededor de un centro abierto llamado lumen (Fig. 1).

Debido a sus muchos grupos hidroxilo polares (-OH), la celulosa es **hidrofílica** (“amante del agua”). El agua se puede agregar y absorber entre las microfibrillas, haciendo la pared de fibra más suave e incluso más flexible (piense en cómo se ablandan los espaguetis secos en agua hirviendo) (Fig. 2a).

En la fabricación de papel, esta flexibilidad le permite a las fibras ser aplanadas en estructuras en forma de cinta como se presiona el papel.

## Estructura de la Celulosa



« La celulosa se compone de cientos a miles de unidades de glucosa que se repiten.

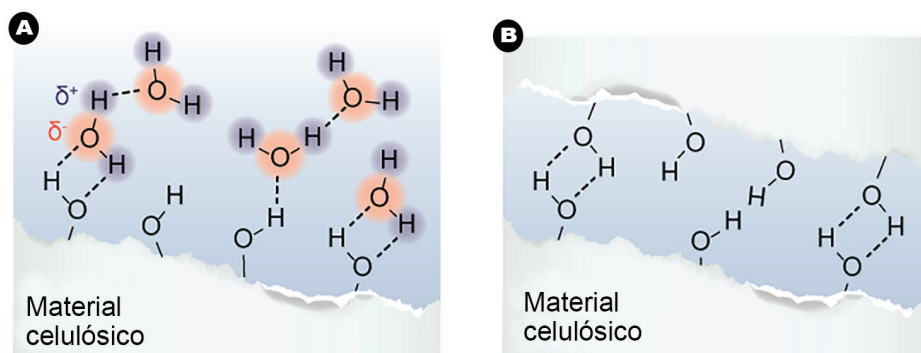


ISTOCK

También puede fácilmente ajustarse a otras fibras donde se cruzan entre sí, aumentando aún más el área de contacto entre las fibras. Esto permite que los enlaces de **hidrógeno se formen** entre las cadenas de celulosa en lo que el nuevo papel recién hecho se seca (Fig. 2b).

Para algunos productos de papel, como el papel higiénico, los enlaces de hidrógeno entre las cadenas de celulosa es toda la fuerza que se requiere para el producto final. Después del uso, estos productos deben deshacerse fácilmente. Y como la celulosa es hidrofílica, el agua puede hacer el truco. Ésta se coloca entre las cadenas de celulosa y causa que los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de celulosa se rompan como nuevos enlaces de hidrógeno entre la celulosa y el agua. Puedes ver esto en acción cuando el papel higiénico se sumerge en agua. Su estructura se rompe, y las fibras se dispersan.

Esta vulnerabilidad al agua es muy útil cuando queremos reciclar otros tipos de papel. Las instalaciones de reciclaje simplemente colocan el papel recuperado—por ejemplo, papeles de oficina, periódicos, o contenedores corrugados usados—en un “hydrapulper” (una licuadora grande) llena de agua. El “hydrapulper” mezcla el papel y el agua vigorosamente. Las fibras se separan fácilmente de



❧ **FIGURA 2.** (a) Los numerosos grupos hidroxilo, o  $-OH$ , de la celulosa atraen las moléculas de agua, lo que hace que la sustancia sea hidrofílica. (b) A medida que el material celulósico es presionado en papel, se forman enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de diferentes cadenas de celulosa.

RACHEL PRICER

cada una y pueden ser limpiadas y reutilizadas.

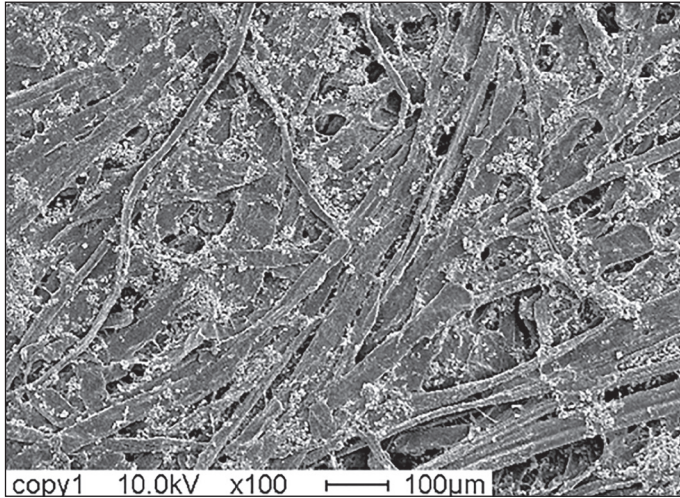
### Para cosas más resistentes

A diferencia del papel higiénico, los productos tales como sobres de correo, cajas de envío, y documentos de oficina necesitan aguantar la lluvia y las salpicaduras ocasionales del agua derramada. Al mismo tiempo, estos productos deben ser reciclables.

Para añadir algo de resistencia a los efectos del agua en los enlaces de hidrógeno entre las cadenas de celulosa en el papel, los enlaces

necesitan protección. Es aquí donde entran pequeñas cantidades de sustancias llamadas agentes de encolado. Los **agentes de encolado** son compuestos orgánicos que son hidrofílicos en un extremo e hidrofóbicos (“temeroso del agua”) en el otro. Cuando se agregan a las fibras, los extremos hidrofílicos se unen covalentemente con la celulosa durante el proceso de secado. Sus extremos **hidrofóbicos** miran hacia afuera, hacia la superficie del papel y ayudan a frenar la absorción del agua.

En algunos casos, los fabricantes de papel también aplican una solución de almidón con



STEVE KELLER

En esta vista de cerca extrema, del papel de copiadora, puede ver cómo está hecho de fibras de madera aplanadas entrecruzadas entre sí. El pequeño material similar a una miga es un relleno que hace el papel blanco.



## Rellenos y Fibras

Gracias a los agentes de encolado, tenemos papel de impresora que no se deshace si se derrama un poco de lluvia o un vaso de agua sobre éste. Pero además de los diversos grados de durabilidad, hemos llegado a esperar que el papel de la impresora sea blanco brillante y suave—no el color de la madera en bruto.

Para lograr estos requisitos de textura y apariencia, los fabricantes reemplazan hasta un 25% de la fibra de la madera con un relleno compuesto de partículas de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), que pueden ser preparadas sintéticamente o extraídas de la tierra como mármol o tiza.

Las partículas de relleno son muy pequeñas, con un diámetro de aproximadamente 1/10mo del ancho de una fibra de madera. Este pequeño tamaño aumenta la dispersión de la luz para hacer que el papel se vea más blanco. Incluso con esta carga extra, el papel mantiene gran parte de su fuerza y resistencia al daño del agua.

unas partículas hidrofóbicas del tamaño de un micrómetro a una superficie de papel. El almidón forma enlaces de hidrógeno con la celulosa, sella algunos de los poros, y cubre algunos de los enlaces de fibra-fibra. Las partículas finas hidrofóbicas retardan la propagación del agua en las superficies de la fibra.

Aunque más fuerte que los pañuelos faciales y el papel higiénico, los papeles tratados con agentes de encolado todavía son fácilmente reciclados bajo las condiciones adecuadas. Esto comúnmente implica romper el papel en trozos más pequeños en una máquina llamada repulso. Equipo adicional separa los restos que quedan, como grapas o el plástico. Las fibras entonces pasan a través de un refinador, que dobla las fibras y reabre las paredes celulares. Esto les permite hincharse y volverse más flexibles. Las fibras pueden volver a formar enlaces como lo hicieron cuando eran nuevos.

Ahora que hemos descubierto cómo hacer papel más resistente al agua manteniendo la reciclabilidad, veamos un producto de papel diseñado para hacer lo contrario. Las toallas de papel deben ser fuertes y absorber líquidos con rapidez. Para combinar estos rasgos en un solo producto, los fabricantes agregan químicos llamados reticuladores poliméricos. Estos agentes forman enlaces covalentes entre las fibras celulósicas, para que el agua pueda entrar en la estructura sin separar las fibras unas de otras. Al mismo tiempo, la cantidad de enlaces en las toallas de papel es limitada. Esto mantiene la densidad baja, por lo que muchos espacios internos están disponibles para que fluyan los líquidos.

Entonces, la próxima vez que limpie un derrame con un papel toalla, use una caja de cartón, o haga una prueba en papel, ¡puedes pensar en la química en cada uno de esos productos útiles!

**Steven Keller** es profesor de ingeniería química en la Universidad de Miami en Ohio.



GETTY IMAGES

## REFERENCIAS SELECCIONADAS

Papel: Ciencia y Sustentabilidad. Compañía Internacional de Papel: <https://www.hammermill.com/paper-is-powerfree-school-curriculum> [accedido en febrero de 2019].

Smook, G. Manual para tecnólogos de pulpa y papel. 4ta Edición. Prensa TAPPI: Peachtree Corners, Ga., 2016.

Scott, W. Principios de "Wet End Chemistry." Prensa TAPPI: Peachtree Corners, Ga. 1996.