

La Celulosa: Fibra y Energía

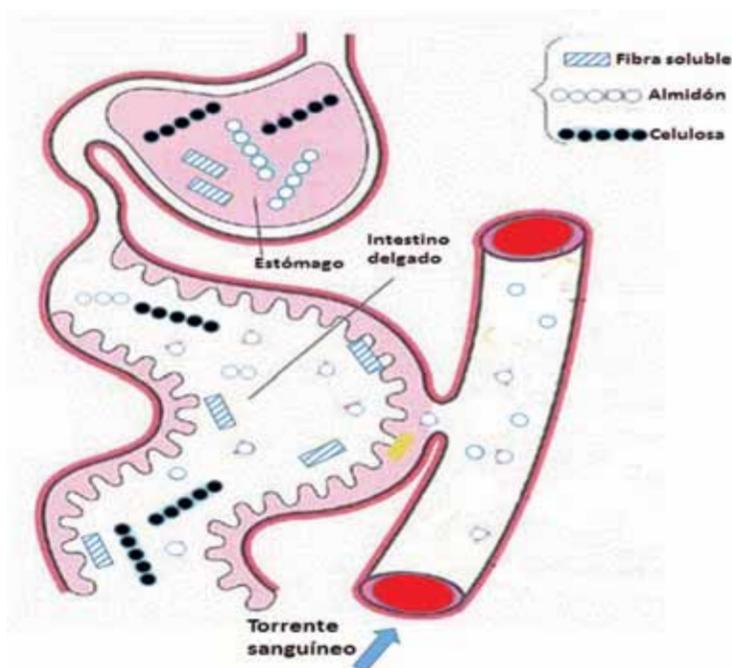


Figura 1. Representación del sistema digestivo. El almidón es “digerido” transformándose en glucosa que es absorbida por el intestino hacia el torrente sanguíneo, mientras que la celulosa no es degradada (fibra insoluble) y transita con las heces. La fibra soluble tampoco es digerida por nuestro sistema digestivo, pero es consumida por los microorganismos intestinales (no se muestra).

Claudia Martínez Anaya
Instituto de Biotecnología, UNAM

Agustín López Munguía
Instituto de Biotecnología, UNAM
(Academia de Ciencias de Morelos)

Las plantas y la biomasa

A todos nos atraen las áreas verdes; pasear por el bosque, admirar grandes extensiones de cultivos o huertos familiares, milpas y chinampas; además nos rodeamos de plantas, adornando nuestro hogar con flores y enredaderas. Sin duda está en nuestro recuerdo, el regaño de la abuela por maltratar una planta o aterrizar un balonazo en sus preciadas macetas. A estas alturas del deterioro ambiental que hemos infligido al planeta, a nadie escapa ya que la función de las plantas va mucho más allá de lo estético y que de su salud depende la salud de los ecosistemas. Si preguntásemos sobre la función de las plantas, seguramente la lista estaría encabezada por el papel que juegan como elemento básico de nuestra dieta, junto con su función de pulmón de la Tierra, capturando el CO₂ que liberan los organismos vivos y -de manera cada vez más intensa- la actividad industrial, y restableciendo el oxígeno que todos los seres vivos y las máquinas de combustión consumen.

En la actualidad, y cada vez con más frecuencia, el término *biomasa* (masa biológica) se entiende como el material vegetal que intentamos integrar a la actividad industrial en el contexto de nuestra aspiración a movernos hacia un planeta “sustentable”. Un proceso sustentable o sostenible es aquel que se puede mantener en el tiempo por sí mismo, sin ayuda exterior y sin provocar escasez de los recur-

sos existentes, de tal suerte que el “desarrollo económico” se dé permitiendo satisfacer nuestras necesidades actuales sin comprometer las posibilidades de las generaciones que nos siguen. Así, en el esfuerzo por cambiar las actividades económicas basadas en la explotación del petróleo (un recurso no sustentable por el simple hecho de que -tarde o temprano- se va a acabar) por recursos renovables, la biomasa adquiere un papel preponderante.

La glucosa: sustancia clave para la vida

No estamos descubriendo el hilo negro: las plantas han sido sustento de la especie humana, antes y después de inventar la agricultura; sus maderas han sido fuente de energía desde las primeras fogatas en las que los *Homo sapiens* cocinaban sus alimentos, hasta las chimeneas que siguen calentando hogares en zonas rurales, o los llamados “pellets” que son pequeñas partículas de madera compactada procedente de residuos forestales y desechos que pueden usarse en calderas y en calefacción. Pero existe una gran diferencia entre los componentes de las plantas que sirven de fuente de energía para humanos y los que sirven para las chimeneas y hornos. Recordemos que la glucosa es el azúcar más fácilmente asimilable por las células de nuestro organismo y por ende nuestra principal fuente de energía. Así, mientras que los seres humanos digerimos el almidón constituido por cientos de miles de moléculas de glucosa enlazadas químicamente mediante uniones fácilmente degradadas por las enzimas de nuestro sistema digestivo (ver figuras 1 y 2), la madera, la paja

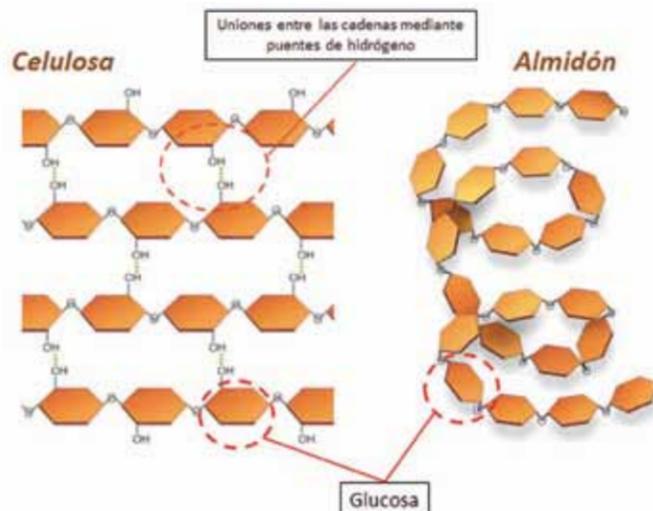


Figura 2. La glucosa se integra en cadenas unidas mediante enlaces β 1-4 en la celulosa y α 1-4 en el almidón. Se muestra únicamente el componente lineal del almidón (amilosa); la amilopectina, contiene el mismo tipo de enlace entre las glucosas que la amilosa, pero con ramificaciones en α 1-6 (no se muestra).

y muchos residuos agroindustriales que quemamos como combustible, están constituidos por celulosa. Es sorprendente descubrir que la celulosa también está formada por cientos de miles de moléculas de glucosa, pero enlazadas químicamente de una manera más fuerte que en el almidón, de tal forma que solo especies muy selectas del planeta pueden transformarla y aprovechar su glucosa como fuente de energía. ¿Qué especies? Pues los rumiantes -o mejor dicho las bacterias y hongos que existen en su estómago-; las termitas, que acaban con la madera en casa, los caracoles, y en general todos aquellos organismos que vemos proliferar en pedazos de made-

ra en estado de descomposición, hongos fundamentalmente. Todas estas especies han siempre visto a la celulosa con el mismo antojo (las vacas al menos) con el que los humanos vemos el almidón de las tortillas, de la pasta, del arroz, es decir, como fuente de glucosa que permita que las células funcionen. Los humanos hemos estado siempre acompañados de la celulosa, sin que reflexionemos demasiado en su importancia biológica y menos aún en el hecho de que estuviera formada por azúcar -glucosa. No hay día en el que no usemos papel, ya sea en nuestras lecturas en forma de libros, cuadernos o revistas y con frecuencia en el baño; transportamos cosas en cajas de

cartón, y presumimos ropa elaborada a base de algodón y lino; amarramos paquetes con fibras e incluso algunos mantenemos el hábito de tallarnos el cuerpo durante el baño con zacate; el celuloide era un material con el que antiguamente se elaboraban las películas del cine, y un sin número de otras aplicaciones. Esperamos que el lector esté ya convencido de que desde siempre la celulosa ha estado íntimamente ligada a nuestra vida, nuestro placer y comodidad.

Una mirada hacia el interior de los vegetales

Químicamente, la celulosa puede considerarse como un biopolímero, lo que significa que está compuesta por cadenas de miles de moléculas más pequeñas, denominadas monómeros- unidas entre sí, como los eslabones que forman un collar. Como hemos señalado, estos eslabones son moléculas de glucosa. De hecho, en combinación con otro azúcar sencillo, denominado fructosa, la glucosa se une para formar la sacarosa, que no es otra cosa que el azúcar de mesa obtenido de la caña que endulza nuestro café matutino. En la dieta de los seres humanos, la celulosa que consumimos con las lechugas, el salvado de trigo y en general con la mayor parte de los vegetales, prácticamente no es digerida, por lo que no nos aporta energía (Figura 1). La razón es que carecemos de las enzimas necesarias para cortar los enlaces y liberar la glucosa. Sin embargo, la celulosa forma parte

HOTEL *Jacarandas* RESTAURANT  DOMINGO
21 JUNIO

FESTEJA a PAPÁ

* DELICIOSA PARRILLADA

* MINUTA de PASTAS

* EMPANADAS ARGENTINAS

* TIRAMISU con BISCOTTI

Conmutador (777) 100 7777, Restaurant 100 7799

www.jacarandas.com.mx



¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial @acmor.org.mx

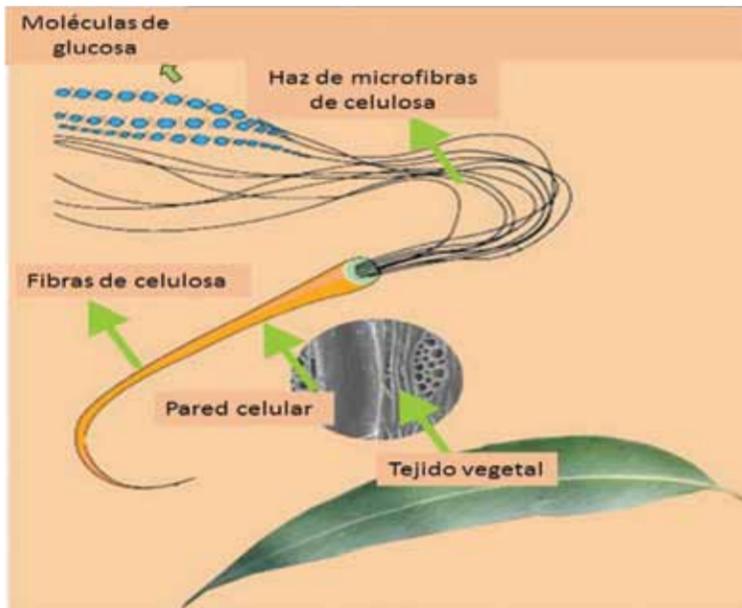


Figura 3. La celulosa en los vegetales: la glucosa se integra en cadenas que dan lugar a microfibras. Alrededor de unas 36 microfibras interactúan para dar lugar a fibras macroscópicas que forman la estructura del tejido vegetal.

esencial del componente que denominamos "fibra" que da consistencia a las heces, y contribuye al tránsito de los alimentos por los intestinos. Hoy en día se sabe que la salud de la microbiota intestinal -que es el conjunto de bacterias que pueblan nuestros intestinos- (ver: "Dulce Fibra": <http://www.acmor.org.mx/?q=content/dulce-fibra>) y por lo tanto nuestra salud intestinal, depende de cantidades adecuadas de fibra en la dieta. Es importante agregar que de entre los componentes de la fibra vegetal, como la *hemicelulosa*, la *celulosa* es el más abundante. Otra de las causas por las que la celulosa no es fácilmente digerida es de debe a que sus cadenas se agrupan fuertemente formando fibras de mayor tamaño (ver figuras 2 y 3) que es imposible disolver en agua: imaginen que una camisa de algodón se disolviera en la lavadora.

La celulosa como alimento de otros organismos

Las *amilasas* son enzimas que permiten liberar rápida y eficientemente la glucosa del almidón para que sea aprovechada por las células, y están ampliamente distribuidas entre las especies que se nutren con almidón. En nuestro caso, las *amilasas* actúan desde que tenemos el almidón en la boca y entra en contacto con la saliva: *el que tiene más saliva, traga más pinoles*, decían nuestras abuelas, sin ser conscientes de que se estaban refiriendo a estas enzimas. Pero, no tenemos enzimas del tipo "celulasa" para digerir la celulosa. Este no es el caso para otros organismos que en su genoma, es decir en sus genes, cuentan con la información que les permite producir las enzimas capaces de digerir la celulosa. Estos organismos pueden vivir libremente en el ambiente, como muchas bacterias y hongos que crecen sobre la corteza de los árboles o que degradan las hojas que caen al suelo; y que son los encargados del compostaje na-

la pregunta: ¿será posible entonces, liberar los azúcares "atrapados" en las cadenas de celulosa para fermentarlos y convertirlos en alcohol? En la búsqueda de una respuesta se encuentran cientos de laboratorios alrededor del mundo que estudian, aprovechan, y buscan identificar nuevas enzimas producidas por bacterias y hongos para la degradación de la celulosa. Esta búsqueda se lleva a cabo a través de diferentes enfoques que van desde la identificación de nuevas especies productoras de celulasas hasta el mejoramiento de la producción o de la actividad de las ya existentes. También se estudia la manera de obtener estas enzimas usando bacterias transgénicas en las cuales se expresan los genes de las celulasas tomados de alguno de los organismos que hemos descrito en la sección anterior. Esto

o plenamente como sustituto de la gasolina derivada del petróleo. Esta tecnología se considera limpia y sustentable porque aprovecha la celulosa de los desechos de la actividad agrícola -después de haber cosechado los cultivos- convirtiéndolos en material útil en forma de biomasa con la ventaja adicional de no estar sujeta a cultivos específicos lo que permite adaptarse a los que cada país produce. Es muy importante señalar que esta tecnología evita el uso del maíz -del almidón y de su glucosa- para elaborar biocombustibles como actualmente sucede en los EUA, donde por ejemplo en 2010 se cosecharon 400 millones de toneladas de cereales, de las cuales 126 millones se dirigieron a la producción de etanol, contra solamente 16 millones en el año 2000. Por lo mismo, esta masiva conversión de cereales a combustibles implica que su precio se encuentre ahora ligado al costo del barril del petróleo. La idea a futuro, incluso en los EUA es dejar los granos para la alimentación humana y usar los materiales vegetales naturalmente abundantes en las diferentes regiones del planeta, disminuyendo la deforestación por competencia con las tierras de cultivo (ver figura 5).

¿Cuál es la ventaja de usar celulosa en la industria energética?

La falta de un esqueleto como el de los animales es compensada

en las plantas por la celulosa ya que les proporciona rigidez y forma una barrera protectora contra las agresiones ambientales; es por esto que absolutamente todas las plantas producen este material, haciéndolo el polímero natural más abundante del planeta. Uno podría pensar que ésta es razón suficiente para justificar el uso de celulosa para producir biocombustibles, pero hay más.

El calentamiento global del planeta se debe en parte a la acumulación de CO₂ que es liberado a la atmósfera al quemar la gasolina durante la combustión de los automóviles, -"pero, lo mismo sucedería al quemar etanol", dirán algunos. La verdad es que ese mismo CO₂ es el compuesto que las plantas usan en la fotosíntesis para la formación de glucosa y se estima que 1/3 del CO₂ transformado anualmente en la naturaleza se dirige hacia la síntesis de celulosa. Por lo que el CO₂ liberado al medio ambiente al quemar etanol proveniente de las plantas es reciclado durante la fotosíntesis generando una situación de mayor equilibrio si se compara con la quema de petróleo que originalmente se hallaba contenido en el subsuelo. Así, en México, y también en Morelos hay laboratorios de investigación que aportan los resultados de su trabajo para aprovechar adecuadamente este noble material, regalo de la Naturaleza (ver figura 6).



Figura 4. Limnoria quadripunctata (http://www.snipview.com/q/Limnoria_quadripunctata), también conocida como "termita marina" es una amenaza permanente en los muelles. Posee un largo intestino normalmente empacado con madera. Sus jugos gástricos contienen casi un 30% de celulasas y hemicelulasas, que ya son objeto de estudio y producción mediante bacterias modificadas genéticamente.

tural que evita la acumulación de árboles muertos a través del tiempo y hace sustentable la vida en el campo. Otro tipo de bacterias y hongos, como ya señalamos antes, son los que viven en el interior de rumiantes y termitas, y dentro de sus estómagos echan mano de las enzimas celulasas para digerir la celulosa que provee energía en forma de azúcares a estos animales hospederos. Recientemente se han descubierto algunos insectos, crustáceos y moluscos capaces de producir -por sí mismos- al menos un tipo de enzima para degradar la celulosa, como una termita acuática que "corroe" la madera en los puertos (ver Figura 4).

Una nueva visión de la celulosa, desde la biotecnología moderna

El conocimiento milenario de que los azúcares son convertidos en alcohol (etanol) durante la fermentación por acción microbiana, nos permite disfrutar de la cerveza y el vino. De este conocimiento surge

nos coloca hoy en día en una situación tal que podemos transformar la celulosa de la biomasa en glucosa, cada vez más eficientemente y a menor costo.

Incluso, en algunos países desarrollados existen ya pequeñas "refinerías" de biomasa para producir etanol que es usado como "biocombustible" ya sea como aditivo

ETANOL: proyección de la producción a partir de celulosa de residuos agrícolas y de almidón de maíz.

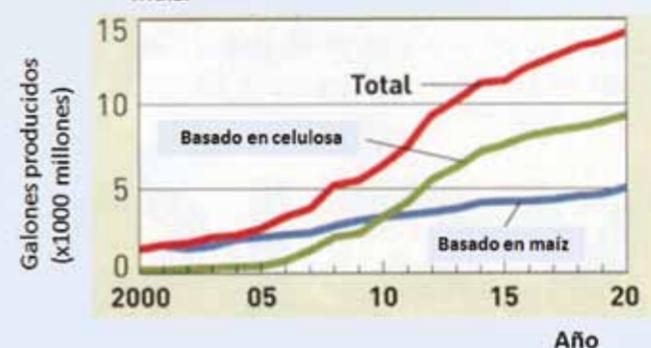


Figura 5. Los biocombustibles en los Estados Unidos. Se muestra el aumento de la producción de ETANOL en ese país a partir de residuos de celulosa (en verde) comparado con el etanol obtenido del almidón de maíz (en azul) y la proyección para el año 2020.



Figura 6. La forma más impura de la celulosa es la madera, con un contenido aproximado del 50%, mientras que en el algodón encontramos a la celulosa en su estado de mayor pureza natural.