

# SEBBM DIVULGACIÓN

## LA CIENCIA AL ALCANCE DE LA MANO



### Enzimas que degradan carbohidratos y desarrollo sostenible

DOI: [http://dx.doi.org/10.18567/sebbmdiv\\_RPC.2018.07.1](http://dx.doi.org/10.18567/sebbmdiv_RPC.2018.07.1)

Antonio David Moreno

Unidad de Biocarburantes del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

#### Biografía

Antonio David Moreno es Licenciado en Bioquímica por la Universidad de Extremadura y Doctor en la especialidad de Bioquímica y Biología Molecular por la Universidad Complutense de Madrid. Desde el 2008, ha participado en numerosos estudios para la producción de biocombustibles y bioproductos a partir de la conversión por procesos biotecnológicos de biomasa lignocelulósica, desarrollando su labor investigadora en diversas instituciones nacionales (Instituto IMDEA Energía y CIEMAT) e internacionales (UC – Berkeley y Chalmers University of Technology). Desde el 2016, se incorporó como Investigador en el Grupo de Biocarburantes del CIEMAT, donde realiza tareas de biocatálisis aplicada para la mejora de los procesos de conversión de biomasa, como la paja de cereal o la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, con el fin de mejorar los procesos de sacarificación y fermentación.

<http://www.sebbm.es/>

#### HEMEROTECA:

[http://www.sebbm.es/ES/divulgacion-ciencia-para-todos\\_10/la-ciencia-al-alcance-de-la-mano-articulos-de-divulgacion\\_29](http://www.sebbm.es/ES/divulgacion-ciencia-para-todos_10/la-ciencia-al-alcance-de-la-mano-articulos-de-divulgacion_29)

#### Resumen

**La obtención de los azúcares fermentables contenidos en los carbohidratos de la biomasa es uno de los factores clave para establecer una bioeconomía sostenible y reducir nuestra dependencia del petróleo y sus derivados. Por ello, las enzimas capaces de degradar carbohidratos ofrecen una buena perspectiva para catalizar selectivamente estos procesos.**

#### Summary

**The efficient conversion of biomass carbohydrates into fermentable sugars is of utmost importance for implementing a sustainable bioeconomy and reducing our dependence on oil-based products. Here, carbohydrate-active enzymes have much more to say than any other catalyst.**

En un modelo de desarrollo sostenible y respetuoso con el medioambiente, el establecimiento de la denominada **bioeconomía** resulta fundamental para mantener el bienestar de las próximas generaciones [1]. Al igual que las refinerías petroleras obtienen productos como la gasolina, el diésel o el asfalto a partir del crudo, las biorrefinerías tienen como objetivo transformar **la biomasa –toda materia orgánica originada por un proceso biológico: residuos agrícolas y forestales, fracción orgánica de basuras, residuos industriales procedentes de la industria del papel o**

**de cerveceras–** en productos de interés comercial y **100% biodegradables.**

El éxito en la implementación de una bioeconomía sostenible radica en el desarrollo de procesos eficientes para la conversión de la biomasa. Los carbohidratos, uno de los componentes mayoritarios de la biomasa, representan una excelente fuente de azúcares que ciertos microorganismos pueden transformar en **biocombustibles** (bioetanol y biodiésel), **bioplásticos** o **aditivos** de pinturas y cosméticos [2]. Sin embargo, la matriz estructural de la biomasa dificulta significativamente la accesibilidad de estos azúcares, limitando los procesos biológicos de conversión y haciendo necesario el pretratamiento de la biomasa mediante procesos físico-químicos. A su vez, la degradación de los carbohidratos a sus respectivas unidades de azúcar resulta un proceso complejo, ya que a pesar de tener una composición química muy similar (por ejemplo, la celulosa y el almidón están ambos formados por unidades de glucosa), existen múltiples posibilidades de combinación entre sus componentes. Esta variedad de composiciones es debido principalmente a: 1) la diversidad en la organización tridimensional de los azúcares, 2) las distintas posibilidades de unión entre los azúcares y 3) la presencia de enlaces con otros componentes no azucarados. Precisamente, ante esta variedad de composición, los **biocatalizadores enzimáticos** pueden ejercer un papel fundamental para la ruptura selectiva de los enlaces que conforman estas macromoléculas.

Las **CAZymes**, del inglés “*Carbohydrate-Active enZymes*”, son las enzimas que actúan sobre los carbohidratos. Según CAZy (la base de datos de lasCAZymes), actualmente se conocen cerca de 300 familias de módulos catalíticos y auxiliares con más de 100.000 entradas no redundantes, lo que demuestra la gran diversidad y complejidad de los procesos de degradación, y de formación de los carbohidratos [3]. Teniendo en cuenta su actividad primaria, las CAZymes se clasifican en 5 grupos, incluyendo, a su vez, las enzimas que actúan sobre la lignina [3, 4]. Es importante destacar que la lignina es un polímero no azucarado. Sin embargo, la inclusión de este conjunto de enzimas en las CAZymes se debe a que, en la naturaleza, la lignina se encuentra íntimamente asociada a los carbohidratos de la pared celular de las plantas y, por tanto, todas estas actividades están muy relacionadas entre sí.

La complejidad de los procesos de conversión de la biomasa hace necesaria la combinación de diferentes actividades para lograr una hidrólisis completa de sus carbohidratos. A modo de ejemplo, en la Figura pueden observarse las enzimas involucradas en la degradación del polisacárido estructural de las plantas, la celulosa. La presencia de cada una de las enzimas representadas en esta figura es imprescindible para poder obtener una hidrólisis completa de la celulosa,

ya que sólo la acción combinada de estas actividades permite poder acceder a todos y cada uno de los enlaces correspondientes. Este hecho es uno de los factores limitantes para las biorrefinerías, dado que el conjunto de actividades requeridas depende directamente de la materia prima, dificultando la obtención de preparaciones enzimáticas de uso generalizado.

Con el fin de desarrollar y optimizar las preparaciones biocatalíticas para la degradación de la biomasa, los recientes avances en las técnicas globales de análisis masivo, denominadas ómicas, han favorecido la identificación de un gran número de nuevas CAZymes [3]. Estas enzimas, en su mayoría de origen bacteriano, permiten ampliar el “catálogo” de actividades disponibles tanto a nivel cuantitativo como cualitativo, ofreciendo una mayor versatilidad respecto a las condiciones de reacción (temperatura o pH). Asimismo, la combinación de técnicas bioinformáticas y de biología molecular ha permitido rescatar ancestros de las actuales CAZymes ya extintos. La recuperación de estos ancestros incrementa notablemente la posibilidad de generar, a través de procesos de evolución selectiva en el laboratorio, todo un conjunto de nuevos biocatalizadores con características específicas a un proceso concreto [5]. Sin lugar a dudas, estos progresos brindan un escenario muy prometedor para la obtención de biocatalizadores

“a medida”, y suponen un auténtico paso adelante en la denominada revolución verde.

**Referencias**

[1] The role of the bioeconomy in Europe: <https://www.openaccessgovernment.org/the-role-of-the-bioeconomy-in-europe/40883/>  
 [2] From the sugar platform to biofuels and biochemicals: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/EC%20Sugar%20Platform%20final%20report.pdf>  
 [3] Carbohydrate-Active enZymes Database – CAZy.: <http://www.cazy.org>  
 [4] Fillat, U.; Ibarra, D.; Eugenio, M.E.; Moreno, A.D.; Tomás-Pejó, E.; Martín-Sampedro, R. Laccases as a potential tool for the efficient conversion of lignocellulosic biomass: A review. *Fermentation* 2017, vol. 3(2):17. doi:10.3390/fermentation3020017  
 [5] Alcalde, M. When directed evolution met ancestral enzyme resurrection. *Microbial Biotechnology*, 2017, vol. 10(1):22–24. doi: 10.1111/1751-7915.12452  
 [6] Dimarogona, M.; Topakas, E.; Christakopoulos, P. Cellulose degradation by oxidative enzymes. *Computational and Structural Biotechnology Journal* 2012, vol. 2(3):e201209015. doi: 10.5936/csbj.201209015

**Figura. Degradación enzimática de la fibra de celulosa.** La fibra de celulosa está constituida por la agrupación de cadenas lineales de glucosa (polímero de celulosa). A pesar de tener una composición química homogénea, la degradación de la celulosa requiere la acción sinérgica de diversas actividades enzimáticas. Las celobiohidrolasas (CBHs) degradan la celulosa desde ambos extremos liberando moléculas de celobiosas. Las endoglucanasas (EGs) y las monooxigenasas líticas de polisacáridos (LPMOs) rompen enlaces internos de la cadena de celulosa creando nuevos puntos de actuación para las CBHs. La celobiosas deshidrogenasa (CDH) se encarga de donar los electrones utilizados por las LPMOs. Finalmente, la β-glucosidasa degrada cada molécula de celobiosas en dos unidades de glucosa (esquema adaptado de Dimarogona, y col. [6]).

