

# DE LA CAÑA DE AZÚCAR AL BIOETANOL, LA TRANSICIÓN BIOTECNOLÓGICA QUE

ELISEO R. MOLINA VÁZQUEZ Y ALFREDO MARTÍNEZ JIMÉNEZ.

El M en C Eliseo R. Molina Vázquez es estudiante de Doctorado en el Instituto de Biotecnología - UNAM, y es Maestro en Ciencias Bioquímicas por la misma institución e Ingeniero Bioquímico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. El Dr. Alfredo Martínez Jiménez, es Investigador Titular del Instituto de Biotecnología de la UNAM y Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

El petróleo es una mezcla de hidrocarburos que se formó en el interior de nuestro planeta durante millones de años. Actualmente es la principal materia prima en diferentes industrias (petroquímica, electrónica, automotriz, cosmética, farmacéutica, de plásticos y otros polímeros, etc.) y fuente de energía para la humanidad. Su explotación y transformación brinda muchas comodidades de nuestra vida actual: más de la mitad de los productos que utilizamos tienen un origen petroquímico. Este recurso es base de la economía mundial. Sin embargo, su uso desmedido ha ocasionado que en menos de dos siglos la humanidad haya acabado con gran parte de las reservas de este valioso recurso natural. Esta situación empeora, si consideramos que actualmente su consumo sigue incrementando. De continuar con este ritmo de explotación, se estima que para el año 2070 se agoten todas las reservas disponibles. Prácticamente todas nuestras actividades económicas dependen directa o indirectamente del petróleo. Particularmente, sin este recurso no se tendría acceso a los combustibles que utilizamos actualmente.

## La humanidad y el petróleo: de la tierra al cielo

Sin el petróleo, las actividades cotidianas resultarían más complejas. En la última década, el consumo anual de petróleo en el mundo ha incrementado un 12% (de 3,998.7 a 4,474.3 millones de toneladas de barriles en el periodo de 2008 a 2018) y la tendencia indica que este siga incrementando a un ritmo del 2.5% anual. Pero, ¿alguna vez has analizado cuales de tus pertenencias provienen del petróleo? Los cables que permiten utilizar la electricidad de forma segura, los envases que contienen nuestros alimentos, los productos de limpieza, incluso la tinta que se utilizó para imprimir esta nota tienen un origen petroquímico. O bien, para generar la energía eléctrica que usa el dispositivo donde posiblemente lees esta nota y para la manufactura del papel en el cual se imprime La Unión de Morelos, se usó energía proveniente de combustibles fósiles. La lista de productos que se obtienen del petróleo es larga como sugiere

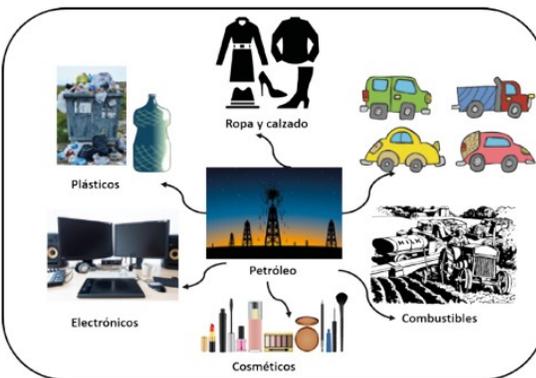


FIGURA 1. APLICACIONES del petróleo en la vida cotidiana.

la Figura 1. Actualmente, somos una civilización dependiente del petróleo y, como en cualquier adicción, en un futuro afrontaremos las consecuencias que esto conlleva. Por lo tanto, debemos reducir gradualmente esta dependencia. Uno de los principales efectos colaterales, que ya están presentes a escala mundial por el uso acumulado de los combustibles fósiles, es la acumulación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera, lo cual de forma importante ha conllevado al cambio climático y calentamiento global en el planeta. En el último siglo y medio la temperatura media del planeta ha incrementado 1.2 °C. No es una casualidad que este incremento esté ocurriendo justo en el periodo de explotación del petróleo. Todo ese carbono que se encontraba en forma de hidrocarburos sepultado bajo nuestros pies, ahora flota por nuestra atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>. Existe una relación directa entre el incremento de la temperatura global del planeta y la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico. Pero, ¿con qué opciones contamos para poder realizar una transición hacia otra fuente de energía?

## El etanol de caña de azúcar: una alternativa verde, renovable y sostenible

Por las razones mencionadas en la sección anterior, existe una preocupación global por desarrollar e implementar tecnologías amigables con el medio ambiente y que generen energía eléctrica a partir de fuentes renovables como la solar, eólica, hidráulica, geotérmica y mareomotriz, entre otras. El objetivo final es preservar nuestro preciado hogar y erradicar la dependencia al petróleo. Frecuentemente los países con economías menos fuertes se han ido rezagando en la implementación de energías renova-

bles y abrazan con fuerza la industria del petróleo. Un paradigma equívoco, puesto que son justamente aquellos países cuya economía depende fuertemente de este recurso no renovable, quienes a la par de la explotación racional del petróleo deberían tener más interés en desarrollar alternativas que le proporcionen seguridad energética y económica.

La electricidad es solo uno de los pilares energéticos de la humanidad. Sin embargo, existen muchas aplicaciones para las cuales se necesitan combustibles, sólidos, líquidos o gaseosos. Por ejemplo, para alimentar calderas, cocción de alimentos, el funcionamiento de la maquinaria industrial y en el desplazamiento de camiones, barcos y aviones. Para satisfacer estas necesidades se pueden utilizar biocombustibles, como el bioetanol, biodiesel, bioturbosina y gas metano. Estos compuestos se obtienen a partir de biomasa, es el material orgánico proveniente de plantas y/o microorganismos, y tienen la capacidad de liberar energía durante su combustión. Actualmente, una parte importante de los combustibles se dirige al sector automotriz. Aunque ahora se cuenta con automóviles eléctricos, es de resaltar que a corto y mediano plazo no es factible que sustituyan completamente a los de combustión interna. Por lo tanto, se necesitan opciones compatibles con los motores actuales en los automóviles. En este sentido, el bioetanol o etanol carburante es el combustible que ha tenido mayor aceptación a escala global, porque puede combinarse en diferentes porcentajes con la gasolina. La gasolina es el combustible líquido mayormente usado en el planeta. El etanol carburante ofrece la posibilidad de aplicarlo en motores de combustión interna con inyección electrónica en mezclas con gasolinas, por lo que no se requiere un vehículo especial para poder utilizarlo. Además, este biocombustible se produce mediante fermentación, un proceso relativamente sencillo con el cual la humanidad se encuentra altamente familiarizado, que consiste en utilizar microorganismos para convertir azúcares en etanol (Figura

2). Las materias primas que se utilizan para producir etanol son renovables y provienen de cultivos agrícolas comunes en diversas regiones del mundo, como lo son la caña de azúcar, el maíz, el trigo y la remolacha, entre otros. Una cualidad muy importante desde el punto de vista económico, es que ciertos países como Brasil, han conseguido reducir los costos de producción de etanol carburante a tal grado que su precio de venta al público es inferior al de la gasolina. (Para más detalles se sugiere leer el artículo: "Etanol carburante, el caso de Brasil y visión de largo plazo")



FIGURA 2. PROCESO de obtención de bioetanol a partir de caña de azúcar

Además, utilizar bioetanol proveniente de la caña de azúcar como combustible potencialmente conlleva otros beneficios. En el ámbito social, al desarrollar el campo y diferentes sectores industriales, generar empleos y mejorar la calidad de vida de la población. En la educación, puede fomentar el desarrollo científico y tecnológico. Y aún con mayor impacto el sector medioambiental. Por una parte, la naturaleza del proceso de producción implica: 1) la fijación de CO<sub>2</sub> en la caña de azúcar, por lo que no incrementa sustancialmente la concentración atmosférica de este gas, en comparación con la gasolina, y tomando en cuenta desde la producción de los cultivos para su generación y hasta su combustión, genera 90% menos emisiones de CO<sub>2</sub>; 2) el etanol se obtiene mediante un proceso de fermentación y 3) su producción tiene eficiencia energética elevada, por cada unidad de energía fósil utilizada, se recuperan 10 unidades energéticas en forma de etanol carburante con tecnologías renovables.

## México, un país dependiente del petróleo

Nuestro país tiene una economía que descansa en gran parte sobre la industria del petróleo, cuyos ingresos representaron el 17% del PIB en 2019. Anudado a esto, también representa su principal fuente de



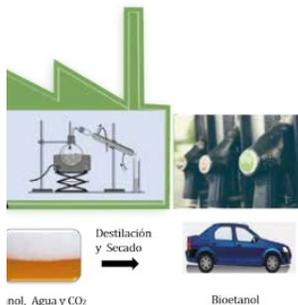
ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)  
 ¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTACTANOS: [editorial@acmor.org.mx](mailto:editorial@acmor.org.mx)

» Referencias  
 » Becerra Pérez Luis Armando (2009). La industria del etanol.  
 » Crago, C., Khanna, M., Barton, J., Giuliani, E., & Amaral, J. (2016). *Journal of Applied Microbiology*, 121(1), 1-10.  
 » Lopes, M., Paulillo, S., Godoy, A., Cherubin, R., Lorenzi, I. (2016). *Journal of Applied Microbiology*, 121(1), 1-10.  
 » Montero-Monsalvo Emmanuel, Mora-Flores José, Martínez-Juárez Martín, Valdivia-Alcalá Ramón (2018). Análisis

## MORELOS NECESITA

energía. La principal actividad económica que demanda este recurso es el transporte con un 56%. En este sector, la gasolina es el combustible predilecto, representando el 65% de la energía total consumida. Según la Secretaría de Energía (SENER), en el año 2018 nuestro país demandó 303 millones de barriles de gasolina, lo que lo posicionó en el 4º lugar del consumo mundial, solo después de EUA, Japón y Canadá. A pesar de que en ese año nuestro país se posicionó como el doceavo exportador de petróleo, no se tiene sostenibilidad



en el mercado de la gasolina. Muestra de ello es que en 2018 se importaron 223 millones de barriles de este combustible, lo cual representó el 74% del consumo de ese año. Aún más desalentadora es la tendencia en la compra de este combustible al extranjero, puesto que, en la última década (2009 a 2019) ha incrementado en un 84% (según el Sistema de Información Energética de la SENER en 2020). Así mismo, el incremento en la producción de gasolina en México en actuales o en nuevas refinerías, debe estar supeditada a criterios de sostenibilidad económica, ambiental, ecológica y de mercado. Aparte de la posibilidad de refinar más petróleo en México, para la obtención de gasolinas y otros combustibles, afortunadamente también es factible implementar un programa de producción de etanol carburante. En las siguientes líneas se describen algunas razones y se plantean una situación hipotética de cómo podría llevarse a cabo, particularmente en el Estado de Morelos (Figura 3).

**El pasado, presente y futuro de Morelos: azúcar, petróleo y bioetanol**



FIGURA 3. TRANSICIÓN energética propuesta para el estado de Morelos

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en el año 2019 México fue el séptimo productor de caña de azúcar del mundo con 58 millones de toneladas al año. Dentro de los 16 estados productores de caña de azúcar destacan Puebla y Morelos con rendimientos de aproximadamente 110 toneladas por hectárea. Considerando que México es superavitario en la producción de este cultivo, que existe una tendencia a disminuir el uso de azúcar en la dieta diaria y que los precios de este producto en el mercado internacional han disminuido en los últimos años, es probable que en un futuro cercano el país cuente mucha de esta materia prima disponible para la producción de etanol. Para producir etanol como combustible se necesita que los azúcares provenientes de las plantas sean fermentados a etanol por microorganismos, generalmente levaduras. Posteriormente este debe purificar,

concentrar y "secarse" (eliminar agua) en varias etapas hasta alcanzar una pureza superior al 99.5%. Tanto las tecnologías de fermentación como las de destilación y secado se encuentran altamente optimizadas a nivel de laboratorio e industrial, por lo que se esperaría un proceso altamente eficiente. Supongamos que como prueba piloto el país destine únicamente la generación de caña de azúcar del estado de Morelos a la producción de etanol. Esta entidad federativa es el octavo productor nacional. Tiene sembradas 20 mil hectáreas, que aproximadamente son 2,200,000 toneladas de caña, de las que se obtienen cerca de 290 mil toneladas de azúcar anualmente. Adicionalmente como subproducto de la extracción de azúcar se producen 706 mil toneladas de melazas, que contienen 607 toneladas de azúcares fermentables. Actualmente en los procesos industriales de fermentación se obtienen 459 kg de etanol por cada tonelada de azúcar fermentada. Y se considera que el proceso de purificación de etanol tiene una eficiencia global del 95%. Por lo tanto, Morelos tiene el potencial para producir 126 mil toneladas de etanol a partir de sacarosa y 264

toneladas a partir de la melaza residual, lo que en conjunto equivale a aproximadamente 160 millones de litros de etanol cada año.

De acuerdo con los datos reportados por PEMEX y el INEGI, el consumo promedio de gasolinas en el país durante el año 2018 fue de aproximadamente 1 litro de gasolina por día por persona. Teniendo en cuenta esta cantidad y una población cercana a 2 millones de personas en el Estado de Morelos, cada día se consumen en la entidad unos 2 millones de litros de gasolina, 730 millones de litros al año. Tomando en cuenta estas cifras, se puede concluir que la producción de bioetanol a partir del azúcar de caña podría potencialmente sustituir el 22% del consumo de gasolina que se genera en el estado. Consecuentemente el país disminuiría la cantidad de gasolinas importadas, que económicamente (considerando el precio actual por barril de gasolina) equivale a cerca de 1,160 millones de pesos. Este dinero en lugar de terminar en el extranjero, se podría destinar a mejorar la economía nacional y local. Aún más importante es que de ser exitosa esta prueba, la misma estrategia podría ser implementada en otras regiones del país.

La situación previamente planteada es un ejemplo del potencial que posee México para afrontar situaciones adversas que se acercan en un futuro cercano. Sin embargo, para lograr implementarlas se re-

quiere de acciones conjuntas entre los sectores político, científico e industrial. También se necesitan inversiones millonarias y sobre todo una visión a largo plazo. No obstante, como se ha mencionado previamente, los beneficios son múltiples, empezando por el cuidado del medio ambiente, pasando por la generación de empleos y terminando con un país menos dependiente del petróleo y la compra de combustibles al extranjero. México podría ser un país que camine al futuro con modernidad, un país con visión tecnológica y sobre todo un país más sostenible. En este sector, y otros en los cuales se pueden sustituir otros materiales que actualmente se obtienen del petróleo, la biotecnología es un aliado infalible. La caña de azúcar y el bioetanol es un ejemplo del potencial que tiene nuestro país para aliviar sus problemas económicos y energéticos.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

# XXXI Congreso de Investigación CUAM-ACMor.

Si estudias primaria, (4to. a 6to.), secundaria o prepa,  
¡participa! Convocatoria abierta a nivel nacional, con  
evaluadores de prestigio nacional e internacional.

## ¡Inscribe tu proyecto!

<https://bit.ly/3rH7PvV>

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C. Tu prepa global

[www.cuam.edu.mx](http://www.cuam.edu.mx) [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)

inol en México. Economía UNAM, 6(16), 82-98. ISSN:1665-952X

W. (2010). Competitiveness of Brazilian sugarcane ethanol compared to US corn ethanol. Energy Policy, 38(11), 7404-7415. doi: 10.1016/j.enpol.2010.08.016

M., & Giometti, F. et al. (2016). Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry. Brazilian Journal of Microbiology, 47, 64-76. doi: 10.1016/j.

ínez-Damián Miguel, Hernández-Juárez Martín, Valdivia-Alcalá Ramón, Montero-Monsalvo Emmanuel, Mora-Flores José, Martínez-Damián Miguel, Hernández del mercado de petróleo y la gasolina en México, 1996-2015. Agrociencia 52 (8), 1179-1193. ISSN:1405-3195