

BIOTECNOLOGÍA ENERGÉTICA SUSTENTABLE: ETANOL CARBURANTE PARA EL TRANSPORTE

Alfredo Martínez Jiménez*, Francisco Bolívar Zapata** y Guillermo Gosset Lagarda***

SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL DEL PAÍS

A diez años de haberse realizado la Cumbre para la Tierra en Río de Janeiro, Brasil, este año se realizará la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en Johannesburgo, Sudáfrica. En ésta se analizarán cinco áreas estratégicas, todas ellas por demás relevantes para el desarrollo sostenible del planeta: agua, salud, agricultura, biodiversidad y energía.

En México, de acuerdo con la Comisión Federal de Electricidad y la Secretaría de Energía, actualmente dos tercios de la energía eléctrica que consumimos se produce en termoeléctricas a partir de combustibles fósiles derivados del petróleo: diesel, combustóleo, aceites pesados y gas natural. El otro tercio se produce en plantas hidroeléctricas (14.4 por ciento), carboeléctricas (10.5 por ciento), geotérmicas y eólicas (3.3 por ciento) y en nucleares (5.4 por ciento). Debido a su importancia económica e industrial, un tema de actualidad, del cual escuchamos opiniones del público en general, políticos, periodistas, editorialistas y, por supuesto, de la presidencia de nuestro país, son las reformas que se pretenden aplicar al sector eléctrico, con el propósito de definir una política energética para la generación de electricidad. En años pasados, con el fin de ahorrar un poco de energía eléctrica, el tema del horario de verano ocasionó grandes controversias.

No obstante los debates, a la fecha no es un tema de reflexión o debate de políticos, del público en general ni de la Presidencia de la República el de los energéticos utilizados en el transporte. Los precios de la gasolina, diesel o gas natural, destinados a usarse en automotores, son incrementados mes tras mes; sin embargo, no se ha llevado a cabo una reflexión a nivel nacional para planear y diseñar estrategias que prevengan la demanda de combustibles para el transporte, es decir, en este sector energético no existe una política o estrategia para contender con las demandas energéticas futuras del sector transporte.

En términos de volumen, 50 por ciento del petróleo producido en nuestro país se exporta a Estados Unidos,

25 por ciento se emplea para producir combustóleo y diesel (electricidad), 14 por ciento para producir gasolina, aproximadamente 2 para elaborar turbosina y 9 por ciento para la producción de otros petrolíferos y petroquímicos. Adicionalmente, por acuerdos comerciales y necesidades de mercado interno, Pemex exporta e importa gasolina, de tal manera que en balance se importa 25 por ciento de la gasolina que consumimos en México. En resumen, después del petróleo importado y el destinado para la generación de electricidad, la gasolina ocupa el tercer lugar de destino del petróleo producido por Pemex.

Después de Venezuela, México ocupa el segundo lugar en reservas probadas en el continente americano. Las reservas probadas de petróleo al 1 de enero de 2001 fueron de 26 años. No obstante, en situaciones de crisis Estados Unidos obliga a México a incrementar la extracción de petróleo y, por ejemplo, incrementos de 10 por ciento en la producción de petróleo reducen las reservas nacionales por cinco años, es decir, que en términos prácticos en menos de 25 años las reservas de petróleo de México, actualmente probadas, estarán agotadas.

Desde la perspectiva energética, el transporte en México está basado en la utilización de combustibles fósiles. Prácticamente 100 por ciento de los medios de transporte públicos o particulares emplean directamente derivados de combustibles fósiles y únicamente una fracción reducida utiliza energía eléctrica, la cual también es generada principalmente con combustibles fósiles. Durante los últimos años el consumo promedio de gasolina en el país ha sido de aproximadamente cien millones de litros por día consumidos en el transporte público, por particulares y por la intrincada red de transportistas de bienes y servicios. De acuerdo con los últimos censos de población, el número de habitantes es muy cercano a los cien millones, de manera que, en promedio, el consumo *per capita* por día es de un litro.

Desde la década de los setenta del siglo pasado, la exportación de petróleo representa una de las fuentes de mayor ingreso para la economía nacional y en el ámbito político y social la industria petrolera mexicana es usada como un símbolo de soberanía e independencia. Los ingresos actuales por la exportación de petróleo son cercanos a diez mil millones de dólares (Pemex, 1999) y las ventas nacionales representan aproximadamente 20 mil millones de dólares. De tal forma que el agotamiento de los

* Investigador titular A. Investigador nacional nivel II. Tiene más de 20 artículos publicados y es experto en Ingeniería de vías metabólicas

** Investigador titular C. Investigador nacional nivel III. Es experto y pionero en ingeniería genética y celular.

*** Investigador titular A. Investigador nacional nivel II. Tiene más de 25 artículos publicados y es experto en fisiología microbiana y en ingeniería de vías metabólicas.

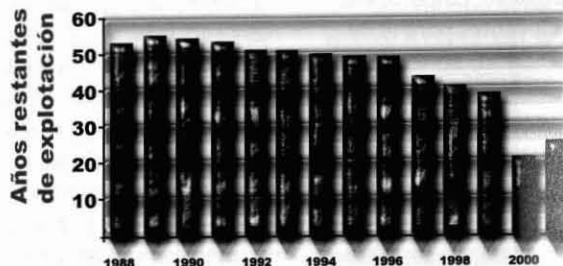
mantos petrolíferos implicaría, además de la pérdida de fuentes de trabajo, un déficit comercial para el gobierno mexicano de aproximadamente 17 mil millones de dólares, que en términos de porcentaje representa un tercio de los ingresos del gobierno federal.

Es claro que la oferta de energía requiere de una transición desde su actual dependencia de los hidrocarburos hacia combinaciones energéticas más diversificadas. Esta transición debe realizarse de forma gradual y ordenada, y requiere lograr el aprovechamiento de diferentes fuentes de energía, prestando particular atención a los recursos renovables.

BIOCOMBUSTIBLES: EL FUTURO DEL TRANSPORTE

Desde el punto de vista ambiental, el incremento de la población y el uso masivo e indiscriminado de combustibles fósiles son las principales fuentes de contaminación, que ocasionan efectos negativos en la salud humana y la biodiversidad del planeta. Asimismo, algunos de los gases contaminantes influyen en el efecto invernadero, y el incremento del dióxido de carbono en la atmósfera (originado por la quema de combustibles fósiles) ha ocasionado incrementos en la temperatura global de tierra. Esto ha propiciado el agravamiento de condiciones ambientales, así como el análisis sobre la necesidad de plantear estrategias de desarrollo sostenible. Este año, durante la celebración del Día Mundial del Medio Ambiente, se propuso el lema "Demos a la Tierra una oportunidad", para englobar los aspectos relacionados con desarrollo sostenible. Los hechos mostrados en los párrafos anteriores plantean la clara necesidad de definir una política energética global, y de manera particular, una política energética para el transporte nacional, la cual debe ser sustentable para evitar efectos de agotamiento de recursos no renovables en la generación de combustibles para automotores.

RELACIÓN RESERVAS / PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO



Años restantes de explotación del petróleo en México

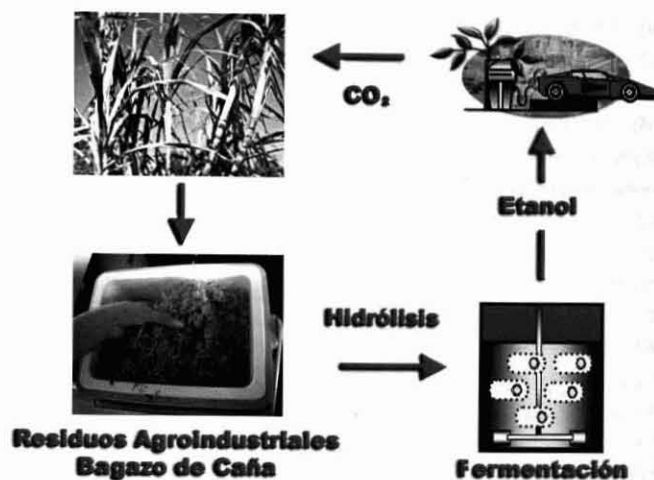
Un plan estratégico para mantener las reservas de petróleo y gas natural por un periodo mayor al estimado, consistiría en utilizar otras fuentes para generar energía. En este contexto, la estrategia planteada por el gobierno para generar electricidad utilizando mayor cantidad de gas natural —recurso natural no renovable—, no parece ser la más conveniente. Sería más redituable a largo plazo generar electricidad mediante el uso de fuentes alternas de energía a los combustibles fósiles, tales como la geotérmica, la

hidroeléctrica, la eólica, la solar, el uso de hidrógeno y el uso de combustibles generados por tecnologías biológicas sustentables. Adicionalmente, para evitar una severa crisis, tanto económica como energética, a nivel nacional sería indispensable y conveniente generar reservas estratégicas de petróleo y gas natural, tal y como lo hace el gobierno estadounidense, además de desarrollar tecnologías propias para generar combustibles alternos.

Particularmente para el sistema de transporte y no obstante el amplio desarrollo tecnológico actual, no son muchas las alternativas disponibles para sustituir la gasolina y el gas natural como formas portátiles y concentradas de energía para automotores. Entre otras opciones destacan el almacenamiento de energía solar y eléctrica en baterías, la generación de energía eléctrica mediante celdas de combustible de hidrógeno y la combustión de metano, metanol, biodiesel o etanol producido mediante tecnologías biológicas. Las tecnologías de almacenamiento de energía solar y eléctrica en baterías presentan grandes problemas técnicos de implementación a escala comercial; de hecho, el automóvil eléctrico, que fue desarrollado desde hace varias décadas, no ha sido puesto en práctica a gran escala comercial debido a estas limitaciones. Por otro lado, las tecnologías actuales para producir hidrógeno están basadas en el uso de combustibles fósiles, de manera que el problema ambiental no se re-

suelve con el uso de las celdas de hidrógeno. Por ello es necesario utilizar fuentes de combustibles renovables. Respecto a los combustibles líquidos para complementar o sustituir la gasolina, la opción más viable para México es utilizar etanol carburante (anhidro), producido mediante procesos biotecnológicos. Una de las principales ventajas de las tecnologías biológicas es su carácter sustentable, ya que están basadas en conversiones de material biológico renovable, y combatir los problemas de contaminación originados por la combustión de residuos fósiles. A diferencia de lo que sucede con el petróleo, mediante el uso de procesos biotecnológicos no se incrementa la concentración neta de CO_2 en la atmósfera, sino que éste únicamente se recicla, integrando la actividad industrial al ciclo de carbono en nuestro planeta. En consecuencia, el uso de combustibles obtenidos mediante tecnologías biológicas permite disminuir o al menos evitar los cambios sobre el efecto invernadero, el cual es afectado por el incremento del CO_2 en la atmósfera proveniente de la quema de combustibles extraídos del subsuelo.

A presión y temperatura ambiente el etanol es líquido, de tal manera que es fácilmente almacenado y transportado; su contenido energético es aproximadamente de dos tercios respecto a la gasolina o diesel, y para su uso en automóviles no se requiere de tanques especiales para almacenarlo. Adicionalmente, los motores de combustión interna que utilizan gasolina pueden emplear como energético mezclas de ésta con hasta 20 por ciento de etanol. Para concentraciones de etanol mayores a 80 por ciento en los combustibles, los costos de producción de automotores son equivalentes a los producidos actualmente. Respecto a las cuestiones ambientales, ha sido comprobado tanto en otros países como por investigadores del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), que las mezclas



En México, a partir del bagazo de caña potencialmente se pueden producir, con tecnologías sustentables, más de 7 millones de litros de etanol carburante por día, usando biotecnologías que permiten reciclar el CO_2 producido en su combustión

de gasolina-etanol permiten reducir la emisión de contaminantes como el monóxido de carbono, partículas en suspensión y óxidos de azufre. Además, la utilización de etanol en mezclas con gasolina cumple con los requisitos de un oxigenante de alta calidad. En México se emplean los éteres de terbutilo (metilo, etilo, amilo, etc.) como oxigenantes de gasolina, de los cuales el metil terbutil éter (MTBE) es el más usado. No obstante, se ha probado que

estos compuestos se pueden acumular en los mantos freáticos, que son recalcitrantes a la degradación química o biológica, y se sabe que en concentraciones mínimas, de partes por millón, son cancerígenos para los humanos. Desde hace más de 15 años se emplean en Brasil y Estados Unidos mezclas de gasolina-etanol y los beneficios de su uso ha sido comprobado a nivel comercial. Adicionalmente, en algunos países desarrollados se ha prohibido, para el 2003, el uso de MTBE como oxigenante de la gasolina.

ETANOL CARBURANTE:

¿ALTERNATIVA VIABLE PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA?

Desde hace más de cuatro mil años el etanol es producido por el hombre a través de procesos de fermentación. En México es usado principalmente en bebidas y en menor proporción como solvente y material de curación. Su producción está basada en el uso de mieles finas (melazas) de ingenios azucareros, de azúcares provenientes de agaves y de granos en general. Sin embargo, el uso del etanol producido con estas materias primas tiene un mercado cautivo en el ramo de bebidas alcohólicas y no puede, desde este punto de vista, canalizarse a la producción de etanol carburante o etanol anhidro. Las tecnologías fermentativas consolidadas para la producción de etanol como energético utilizan sacarosa como fuente de carbo-

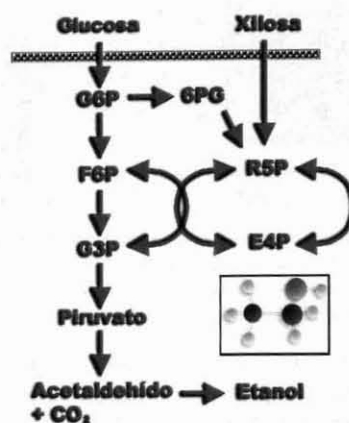
no en Brasil y almidón de maíz en Estados Unidos. México no es autosuficiente en maíz y, en consecuencia, ésta no es una materia prima viable para la producción de etanol carburante. Aun cuando México produce excedentes de azúcar, la sacarosa tampoco lo es, porque los excedentes actuales no satisfacen los altos volúmenes requeridos de etanol como energético; adicionalmente, su costo a partir de esta materia prima es elevado en comparación con el de la gasolina. Por su abundancia y capacidad de renovación sustentable, las materias primas más viables para este propósito son los azúcares de los residuos agroindustriales (primera lignocelulosa o biomasa), pues su bajo o nulo costo es otro factor que favorece la utilización de los residuos agroindustriales para producir combustibles, particularmente aquellos que se encuentran concentrados debido a las actividades agroindustriales, como el bagazo de caña de azúcar (BCA) o la viruta y el aserrín. Sin embargo, existen dificultades para utilizar estas materias primas en procesos biotecnológicos. Una de las más importantes es la incapacidad fisiológica de los microorganismos empleados en la fermentación alcohólica tradicional para utilizar azúcares de cinco carbonos –xilosa y arabinosa–, los cuales abundan en los polisacáridos de los residuos agroindustriales.

Los excedentes de la industria azucarera nacional ascienden a 500 mil toneladas anuales. Se sabe que las características oxigenantes del MTBE, el cual se importa en parte en México, puede ser sustituido agregando 3 por ciento en volumen de etanol a la gasolina. Como ya se mencionó, el mercado nacional es de cien millones de litros diarios de gasolina. Considerando los rendimientos teóricos de conversión y la eficiencia de fermentación y recuperación de etanol, a partir de los excedentes de sacarosa únicamente se puede obtener el equivalente al 0.8 por ciento del volumen de gasolina (0.8 millones de litros por

día). Es decir, que esta alternativa no alcanzaría para oxigenar el consumo nacional de gasolina, además de que el precio de producción de etanol sería mayor que el de venta actual de la misma.

Sin embargo, la industria azucarera obtiene como subproducto o como material de desecho aproximada-

mente 14.1 millones de toneladas de bagazo de caña por zafra, los cuales están concentrados en los 59 ingenios del país. Este bagazo de caña, con tecnologías y procesos biotecnológicos de punta, pueden ser convertidos en 7.05 millones de litros de etanol por día o en aproximadamente 7 por ciento en volumen de la gasolina consumida por día. Es decir, que la conversión del bagazo de caña en etanol alcanzaría para oxigenar el consumo de gasolina nacional a 3 por ciento y habría aún excedentes de cuatro millones de litros de etanol por día, los cuales podrían ser utilizados no únicamente para oxigenar la



La ingeniería de vías metabólicas ha permitido diseñar microorganismos que utilizan los dos azúcares más abundantes en el planeta –glucosa y xilosa– y que los convierten eficientemente en etanol

gasolina, sino para complementar el uso de ésta como combustible.

Como se ha propuesto desde hace varias décadas, la tan citada y añeja crisis de la industria azucarera podría superarse mediante la diversificación de sus productos y, como se muestra en el párrafo anterior, el procesamiento de un desecho de los ingenios puede ser la clave para iniciar esa diversificación y colaborar en la instrumentación práctica de una política energética sustentable y ecológica. Es claro, a partir de este ejemplo, que otros residuos agroindustriales de gran volumen se pueden utilizar tecnológicamente para cumplir el mismo propósito. Los puntos clave son: disponibilidad de éstos en gran cantidad; que se encuentren concentrados en zonas de procesamiento y que no sean utilizados de manera preferencial para otro propósito comercial.

Actualmente se cosechan cerca de 550 mil hectáreas de caña de azúcar, lo cual representa 1.76 por ciento de la

superficie total cultivable del país (31.1 millones de hectáreas). De cada tonelada de caña se pueden obtener 112 kg de azúcar, 300 kg de bagazo y 40 de melaza, los cuales pueden ser convertidos en 65, 55 y diez litros de etanol, respectivamente, para obtener un rendimiento total de 130 litros de etanol por tonelada de caña. El promedio de rendimiento en campo de cosecha de caña es muy bajo para México (70 toneladas por hectárea), mientras que en otros países azucareros, como Cuba y Brasil, se obtienen promedios de hasta 120. Considerando que se obtuvieran cosechas promedio de 105 toneladas por hectárea (50 por ciento más que el promedio actual), entonces se requeriría de 3.7 por ciento más de la superficie cultivable del país destinada al cultivo de la caña para proveer, en volumen, 50 por ciento del combustible usado en el autotransporte. En este caso no sería necesario procesar la caña para obtener azúcar cristalina; únicamente con moler y "exprimir" la misma resultarían dos corrientes: una de un jarabe de sacarosa y otra del bagazo de caña, este último procesado para obtener azúcares fermentables y posteriormente fermentar ambas corrientes en conjunto o por separado, con microorganismos diseñados ex profeso para obtener concentraciones elevadas de etanol. De hecho, el desarrollo de jarabes de sacarosa, y no el de azúcar cristalina, también ayudaría a contender con la desleal competencia entre los jarabes de alta fructosa, importados de Estados Unidos, y la sacarosa destinada a la industria refresquera.

LA BIOTECNOLOGÍA MODERNA EN LA PRODUCCIÓN DE ETANOL

La biotecnología moderna cuenta con herramientas que permiten modificar, modular y diseñar vías metabólicas en una amplia variedad de microorganismos. Mediante ingeniería de vías metabólicas se pueden modificar los microorganismos silvestres etanologénicos para generar la capacidad de metabolizar pentosas (azúcares de cinco carbonos presentes en gran cantidad en los hidrolizados de bagazo de caña y de residuos agroindustriales), o bien convertir en microorganismos productores de etanol a aquellos que tienen la capacidad de utilizar pentosas y hexosas. En ambos casos el propósito es canalizar esqueletos de carbono y energía de manera eficiente hacia la producción de etanol. Éstas son estrategias de investigación implementadas en el ámbito internacional desde hace más de una década, por lo que actualmente existe

ya una serie de tecnologías que permiten, hasta cierto grado, la conversión de residuos agroindustriales en etanol. Sin embargo, por su eficiencia, rendimiento y limitaciones se requiere aún de mejoras sustanciales e innovaciones en varios aspectos biotecnológicos. Entre otros proyectos en los cuales se trabaja actualmente para el perfeccionamiento de estas tecnologías se encuentran: a) el desarrollo de procesos para generar azúcares fermentables en altas concentraciones a partir de residuos agroindustriales; b) el desarrollo de cepas de producción que logren la conversión eficiente en etanol de todos los azúcares presentes en jarabes de azúcares, incluyendo pentosas (xilosa y arabinosa), hexosas (glucosa y manosa) y disacáridos (sacarosa); c) incrementar la tolerancia a concentraciones elevadas de etanol en los microorganismos que utilicen pentosas para producirlo; d) incrementar la tolerancia de los microorganismos o eliminar las toxinas que se generan durante la hidrólisis de los residuos agroindustriales; e) el desarrollo de procesos fermentativos de escala industrial a partir de medios de cultivo simples con productividades elevadas de etanol.

Finalmente, la instrumentación de procesos de producción de etanol carburante en México también debe contemplar aspectos económicos. Hoy en día, el etanol producido a partir de la sacarosa de caña en Brasil se vende en 0.54 reales por litro, mientras que el litro de gasolina se vende en 0.69 reales. Evaluaciones técnico-económicas de proyectos para producir etanol con residuos agroindustriales han arrojado como resultado un costo de producción de aproximadamente tres pesos por litro; el costo actual de venta de gasolina en México es de seis pesos el litro. El perfeccionamiento de los aspectos arriba citados permitirá generar tecnologías aún más atractivas para el gobierno, para la industria azucarera y para los inversionistas.

La instrumentación de una política energética para el transporte, basada en biotecnologías sustentables, permitiría evitar una crisis energética y financiera en las décadas por venir, reduciría los problemas de contaminación en las grandes ciudades, detendría el calentamiento global del planeta, revitalizaría a la industria azucarera nacional, a una fracción de la agroindustria del país, y más que "darle una oportunidad a la tierra", la tierra le daría una nueva oportunidad a México.