

# Biocombustibles para el transporte

Las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) derivadas de las actividades humanas, y en particular del transporte, promueven el calentamiento global. Existen alternativas para reducir las emisiones de  $\text{CO}_2$ : autos eléctricos, autos híbridos y autos comunes que utilizan combustibles alternativos, entre otras. Algunos de estos combustibles alternativos son los biocombustibles y los combustibles verdes.

## Los combustibles del transporte

El transporte nos ha llevado de comunidades aisladas a una sociedad conectada y prácticamente global. El desplazamiento de alimentos, objetos, personas, incluso agua, permite el bienestar y desarrollo de las ciudades y naciones. En México, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), había 38 023 535 vehículos registrados al terminar el año 2014, incluidos automóviles, autobuses de pasajeros, camionetas, camiones de carga y motocicletas. Cada uno de estos vehículos consume combustible (ya sea gasolina o diesel) para cumplir su función: transportar personas, cajas de productos, materiales de construcción, pizzas, etcétera. Sin embargo, la quema de estos combustibles genera emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a la atmósfera.

Por lo general, tenemos la idea de que la gasolina o el diesel son sustancias formadas por un único componente, pero no es así. Estos combustibles son mezclas complejas de un gran número de sustancias diferentes; son mezclas de hidrocarburos. Los hidrocarburos son moléculas formadas exclusivamente por átomos de carbono e hidrógeno y presentan arreglos variadísimos, aun si tienen el mismo número total de átomos. En los hidrocarburos, los átomos de carbono están unidos entre ellos en forma de cadena lineal, cadena ramificada y cadena cerrada (ciclo); además, estas cadenas de átomos de carbono están saturadas de átomos de hidrógeno. En el caso de la gasolina,



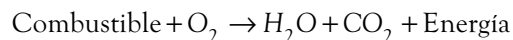


los hidrocarburos que la forman poseen desde cinco hasta 12 átomos de carbono, y desde 14 hasta 26 átomos de hidrógeno; en el caso del diesel, de 12 a 18 átomos de carbono, y de 26 a 38 átomos de hidrógeno. En la Figura 1 se presentan algunas de las estructuras de las moléculas que comúnmente forman la gasolina; estas moléculas son muy diversas y la suma de todas forma la gasolina.

La razón de que la gasolina y el diesel utilizados en el transporte sean mezclas, en lugar de sustancias puras, está relacionada con la forma de producción de estos combustibles. Típicamente, los combustibles para el transporte se extraen del petróleo, que es una mezcla aún más compleja de hidrocarburos. El petróleo se obtiene de pozos y es refinado en enormes complejos industriales. Uno de los procesos de refinación implica romper las enormes moléculas de hidrocarburos que forman el crudo, lo cual se realiza aplicando calor (pirólisis o rompimiento térmico) o con ayuda de un catalizador (sustancia que promueve una reacción química, pero que después permanece inalterada). El calor también hace que las moléculas pequeñas (resultado del rompimiento) se evaporen y se condensen formando clases o “fracciones”. Una de estas fracciones es la gasolina y otra más es el diesel. En la Figura 2 se representa la clasificación de las fracciones obtenidas del rompimiento del petróleo; las moléculas del petróleo pueden tener desde uno

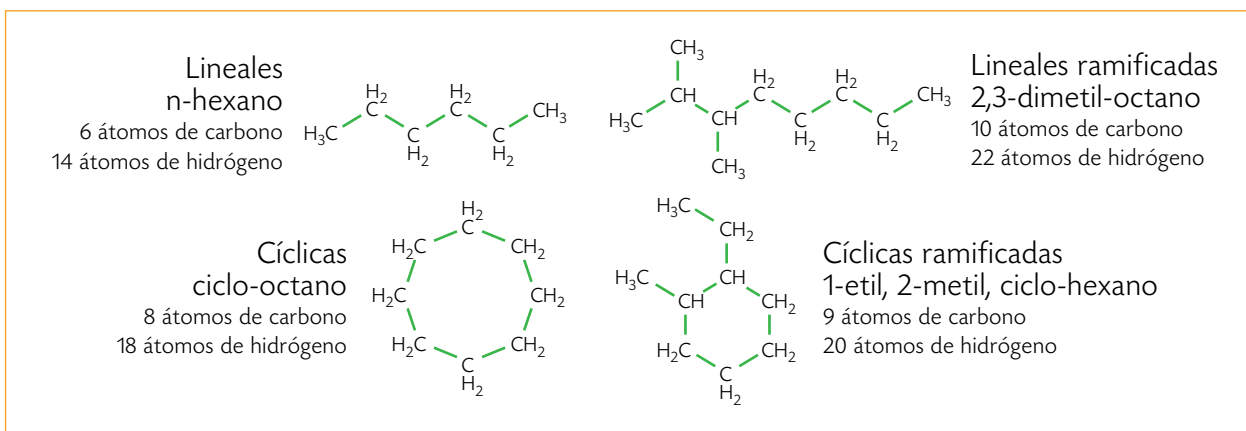
hasta más de 50 átomos de carbono, y cada fracción tiene un uso diferente (según sus características).

Los vehículos transforman a los combustibles en energía quemándolos; es decir, por medio de una reacción de combustión. De forma general, una reacción química de combustión es como la siguiente:

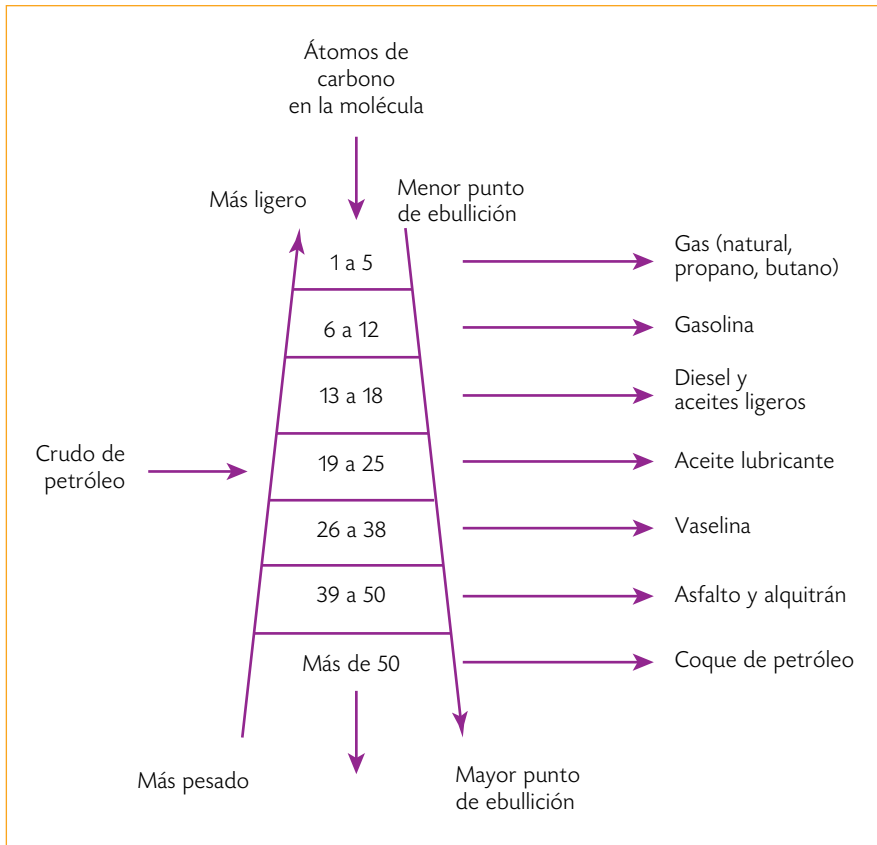


donde el combustible es gasolina o diesel (o cualquier otro). Esta reacción sucede dentro del motor de un vehículo de transporte y la energía producida permite que el motor realice su trabajo al dar potencia al vehículo y permitir que se desplace.

Ahora, en la reacción se produce  $\text{CO}_2$ , un consabido gas de efecto invernadero –esto es, uno de los gases que promueven el calentamiento global–. De lo anterior, cada vez que se utiliza un vehículo, si éste funciona con gasolina o diesel, se emite  $\text{CO}_2$ ; pero ¿qué tanto  $\text{CO}_2$  se emite? Tanto como el tiempo que el motor dure encendido, qué tanto se pise el acelerador, cuánta carga lleve el vehículo, el modelo del vehículo y si está afinado... La conclusión es que los vehículos de transporte que funcionan con combustibles son una fuente importante de emisiones de  $\text{CO}_2$  en todo el mundo.



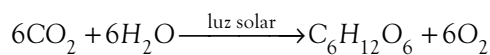
**Figura 1.** Algunas de las estructuras químicas que conforman la gasolina: moléculas lineales, que son una consecución unidireccional de átomos de carbono saturados de hidrógeno; lineales ramificadas, que presentan algunos átomos de carbono a manera de “ramas” de la cadena principal; cíclicas, en las que los átomos de carbono forman una cadena cerrada; cíclicas ramificadas, que son ciclos con ramificaciones. Todas estas moléculas están mezcladas con otras similares, con el mismo o diferente número de átomos de carbono (desde 6 hasta 12 átomos).



**Figura 2.** Diagrama que representa una torre de destilación de petróleo y los diferentes productos (fracciones) que se obtienen de ella.

### El balance atmosférico de CO<sub>2</sub>

En investigaciones recientes se ha establecido que el planeta es capaz de asimilar aproximadamente 25.8 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. Esta asimilación la realizan organismos terrestres (insectos, pastos, bacterias, hongos, etcétera), bosques (siempre verdes y caducifolios), selvas y organismos marinos (algas, cianobacterias, etcétera). Las plantas y demás organismos fijan (procesan) el CO<sub>2</sub> por diversos procesos químicos; un ejemplo es la fotosíntesis. En ésta, la planta capta el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y, con ayuda de luz solar, lo transforma en azúcares que la proveen de energía para generar **biomasa**. Ésta es la reacción química global de la fotosíntesis:



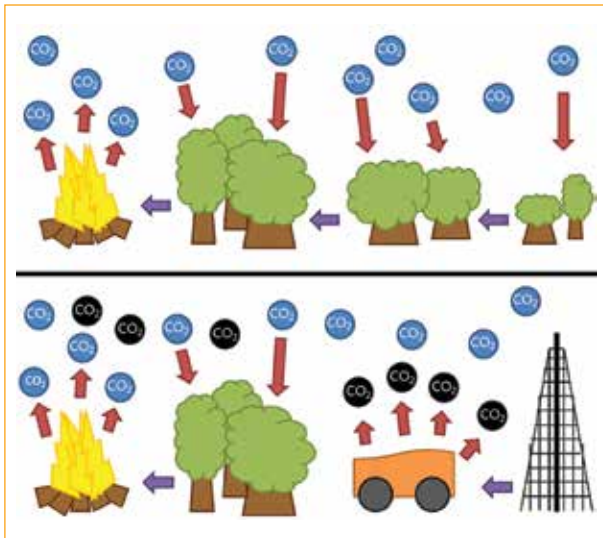
El C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> es una molécula de azúcar que la planta transforma en energía química. La planta utilizará esta energía química para sintetizar biomasa. Por ejemplo, podemos pensar en un árbol que realiza la fotosíntesis y capta CO<sub>2</sub> de la atmósfera para crecer;

pero este árbol un día será talado y cortado para hacer leña, que será quemada por una familia que habita en la sierra para generar calor, cocinar sus alimentos o calentar agua. Al quemar leña, la reacción de combustión transforma la biomasa en CO<sub>2</sub>; es decir, la biomasa se utiliza como combustible para generar calor y se libera CO<sub>2</sub> a la atmósfera, de donde lo tomó el árbol en un inicio. Esta breve historia forma un ciclo, conocido como ciclo atmosférico del CO<sub>2</sub> (véase la Figura 3).

El ciclo atmosférico del CO<sub>2</sub> es parecido al ciclo del agua (por nombrar un ejemplo), pero con una diferencia importante que saltará a la vista a continuación. Tengamos presente que en la atmósfera hay una cantidad definida de CO<sub>2</sub>, y ésta es convertida totalmente por plantas, bosques y selvas en biomasa. Luego, la biomasa generada a partir del CO<sub>2</sub> inicial es quemada para obtener energía y el CO<sub>2</sub> regresa a la atmósfera, con lo cual se completa el ciclo. Hasta aquí, todo funciona adecuadamente. ¿Pero qué pasaría si la cantidad inicial de CO<sub>2</sub> fuera mayor a la que las plantas, bosques y selvas pueden recolectar? Se

#### Biomasa

Materia que pertenece o se obtiene de un ser vivo.



**Figura 3.** Balance atmosférico del CO<sub>2</sub>. Arriba: el CO<sub>2</sub> es captado por las plantas, convertido en biomasa y eventualmente se libera (por ejemplo, con la combustión de madera) y regresa el CO<sub>2</sub> a la atmósfera, lo que completa el ciclo. Abajo: el CO<sub>2</sub> de la atmósfera (azul) se combina con el CO<sub>2</sub> producido por la quema de combustibles derivados del petróleo (negro); este CO<sub>2</sub> incrementa la capacidad de las plantas de convertirlo en biomasa, por lo que desbalancea el ciclo y se promueve el calentamiento global.

captaría la cantidad normal de CO<sub>2</sub> de la atmósfera, pero quedaría un exceso sin transformar. El ciclo continúa, y si cada vez el exceso inicial es mayor, una gran cantidad de CO<sub>2</sub> permanece en la atmósfera sin ser captada. Este CO<sub>2</sub>, que supera la capacidad del planeta para asimilarlo, es el responsable del actual efecto invernadero.

La pregunta que ahora está en el aire, así como queda el exceso de CO<sub>2</sub>: ¿de dónde viene ese CO<sub>2</sub> adicional, el que desbalancea el ciclo? Tal exceso proviene de quemar combustibles derivados del petróleo. Para aclarar esto, hay que recordar que el ciclo atmosférico del CO<sub>2</sub> parte del CO<sub>2</sub> que se encuentra en la atmósfera *en este momento*. De forma opuesta, el petróleo que yace debajo de la tierra está formado por átomos de carbono que no fueron captados de la atmósfera *en este momento*, sino hace miles de años. El petróleo se utilizará para producir combustibles que serán quemados y liberarán al ambiente toneladas de CO<sub>2</sub> nuevo, que no formaba parte del ciclo *por ahora*. Así, cada vez que utilizamos un vehículo que funciona con combustibles derivados del petróleo, estamos alterando el balance del ciclo atmosférico el CO<sub>2</sub>.

¿Es posible utilizar vehículos para transporte que no alteren el balance atmosférico del CO<sub>2</sub>? La respuesta es sí, es posible. Los vehículos pueden funcionar con combustibles derivados de la biomasa; al quemarse, éstos devuelven a la atmósfera CO<sub>2</sub> que fue captado de ella *en este momento*, por lo que no alteran el ciclo. Estos combustibles se clasifican en dos grupos: biocombustibles (bioetanol y biodiesel) y combustibles verdes.

### ■ Biocombustibles

Entre los biocombustibles están el bioetanol y el biodiesel. El primero es alcohol etílico que se produce por la fermentación de azúcares, tal y como se producen los vinos, licores y otras bebidas alcohólicas. Al hablar de fermentación, se implica que ciertos microorganismos transforman materias primas (como azúcares) en biomasa y otros productos. El etanol es generado durante la fermentación de azúcares por microorganismos llamados levaduras. En algunos países, como Brasil, el bioetanol se obtiene por la fermentación de la caña de azúcar; en otros, del sorgo dulce, del maíz y de algunas otras especies vegetales con alto contenido de azúcares.

El bioetanol destinado a ser un combustible de transporte es, quizás, el biocombustible más conocido en el mundo. En el caso de Brasil, su producción constituye una industria bien establecida, que primero requirió del diseño de automóviles con motores especiales, adaptados a funcionar únicamente con bioetanol o con mezclas de bioetanol y gasolina derivada del petróleo (motores *flex-fuel*). Lo anterior es relevante porque si se alimentara únicamente con bioetanol el motor de un automóvil común (como los que se hacen en México), este vehículo no funcionaría, ya que los automóviles están diseñados para funcionar con gasolina. Esta “incompatibilidad” se debe a que el bioetanol, al quemarse, produce menos energía que la gasolina, como un tercio menos. Por esta razón, el bioetanol se utiliza como aditivo para la gasolina común (para todo tipo de vehículos) en cantidades que llegan hasta 25 por ciento.

Por otra parte, el biodiesel es un biocombustible que emula al diesel común y está constituido, gene-

ralmente, por metil ésteres de ácidos grasos de 16 o 18 átomos de carbono. Para explicar esto, la naturaleza química del biodiesel puede comprenderse mejor partiendo de su síntesis química. El biodiesel se produce por la transesterificación de grasas, generalmente de origen vegetal. La transesterificación de las grasas es un proceso químico muy similar al de la producción de jabón; básicamente requiere mezclar grasa (como aceite vegetal) con ácido (como el ácido clorhídrico) y alcohol (normalmente metílico). Este proceso, si se hace correctamente, lleva a la producción de una mezcla de dos fases: una rica en biodiesel y otra rica en agua y glicerol (subproducto).

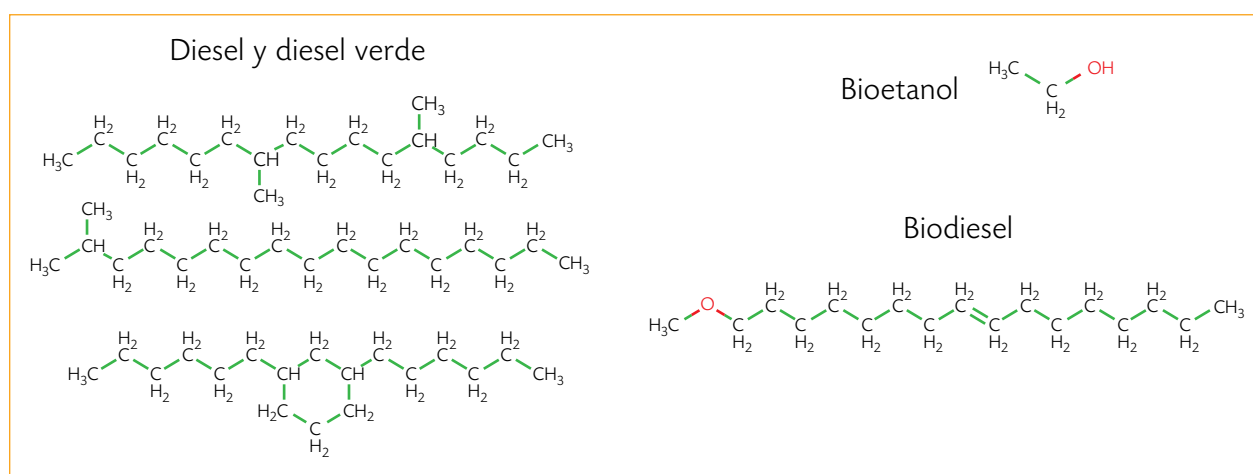
Debido al proceso recién descrito, las moléculas de biodiesel contienen un átomo de oxígeno intermedio (compuestos llamados metil ésteres), a diferencia del diesel derivado del petróleo, que no contiene oxígeno. Por otra parte, a diferencia del bioetanol, los vehículos con motores a diesel no requieren ser adaptados para funcionar con biodiesel; sin embargo, el rendimiento del vehículo puede ser ligeramente menor, ya que el biodiesel genera un poco menos energía que su contraparte derivada del petróleo, hasta 7% menos que al quemar diesel. Pero esto es muy variable, porque la energía producida al quemar biodiesel depende en gran medida del origen de la grasa que se utilizó para producirlo. Las grasas que se utilizan comúnmente son aceites vegetales extraídos de la soya, el maíz y la canola, por mencio-

nar algunos. Esta variabilidad representa una limitante importante y es la causa de que algunas grasas no comestibles no sean materias primas idóneas para la producción de biodiesel.

En la Figura 4 se presentan las estructuras moleculares de los diferentes combustibles; pueden observarse claras diferencias en la estructura y composición entre el bioetanol y la gasolina: por el número de átomos de carbono, la presencia de oxígeno y estructuras disímiles. No es de sorprender que no sean energéticamente equivalentes. Por otra parte, el diesel y el biodiesel parecieran tener diferencias estructurales menos evidentes; sin embargo, en la práctica, la presencia del átomo de oxígeno y de dobles enlaces entre átomos de carbono hace que el biodiesel presente propiedades levemente divergentes con las del diesel derivado del petróleo.

#### El dilema de los biocombustibles

El bioetanol y el biodiesel presentan ventajas importantes sobre los combustibles derivados del petróleo, entre ellas las que discutimos en los párrafos anteriores: conservan el balance atmosférico de CO<sub>2</sub>, pueden producirse de forma sustentable y la tecnología para su producción es sencilla y ubicua. Sin embargo, nos enfrentan a un dilema ético y moral importante, ya que ambos biocombustibles requieren de alimentos de consumo humano para su



**Figura 4.** Comparación entre las estructuras moleculares de los combustibles fósiles, combustibles verdes y biocombustibles.



producción. El bioetanol requiere azúcares como los extraídos de la caña de azúcar, el maíz, la remolacha o las frutas; el biodiesel se produce a partir de aceite vegetal extraído de la canola, el maíz, la soya o la palma, entre otros aceites comestibles. A sabiendas de que vivimos en un mundo donde hay seres humanos que no tienen qué comer o beber, utilizar alimento y agua para combustibles que nos permitan ir a pasear en auto un domingo parece superfluo, por más ecológico que sea el viaje.

Inspirados en lo anterior, diversos investigadores han realizado propuestas para que el campo de los biocombustibles siga su desarrollo sin utilizar alimentos en el proceso. Algunas de estas propuestas son producir bioetanol a partir de biomasa no comestible (lignocelulósica) y obtener biodiesel a partir de aceites vegetales no comestibles (como la jatropha) o grasas extraídas de microalgas. A estos biocombustibles se les conoce como de “segunda generación”.

#### ■ **Combustibles verdes**

■ Los combustibles verdes son químicamente iguales a los combustibles derivados del petróleo, pero que conservan el balance atmosférico del  $\text{CO}_2$ . Suena bastante atractivo, ¿cierto? Esta combinación única

de cualidades se logra utilizando los mismos procesos químicos que se emplean en la producción de combustibles fósiles (derivados del petróleo), pero con materias primas de origen biológico. Es decir, la gasolina derivada del petróleo, que se obtiene por el proceso de rompimiento catalítico que utiliza como materia prima al petróleo, tiene su contraparte: “gasolina verde” que se obtiene por el proceso de rompimiento catalítico utilizando grasas (vegetales o animales) como materia prima. Bajo esta premisa, la naturaleza química de ambos tipos de gasolinas puede ser análoga, y lo es.

En algunas investigaciones se ha demostrado que es posible obtener una mezcla compleja de hidrocarburos de 6 a 12 átomos de carbono, que puede ser categorizada como gasolina derivada del petróleo; asimismo, puede obtenerse una mezcla de 13 a 18 átomos de carbono, que puede categorizarse como diesel derivado del petróleo. Estos mismos productos pueden obtenerse por un proceso típico de petroquímica conocido como “hidrogenólisis”, que genera gasolina y diesel a partir de grasas con hidrógeno a alta presión y la acción de un catalizador.


Siendo que los combustibles descritos en los párrafos anteriores son producidos a partir de la biomasa y conservan el balance atmosférico del  $\text{CO}_2$ ,



se denominan “combustibles verdes”. Así, la gasolina y el diesel verdes tienen una evidente ventaja tecnológica sobre el uso de los biocombustibles; esto es, la transición transparente para los vehículos de transporte. Los autos y camiones de todo el mundo podrían utilizar combustibles verdes y los usuarios no notarían diferencia en el funcionamiento de sus vehículos... ¡Porque no la hay!

Sin embargo, parece que el dilema ético del uso de biomasa comestible para la producción de gasolina o diesel prevalece; aunque no es así. Una ventaja adicional de los combustibles verdes es que los procesos químicos implicados en su producción son tales que permiten el uso de una gama diversa de materias primas, como aceite de higuera (ricino), fosfolípidos, diglicéridos, cebo, grasas extraídas de microalgas, ácidos grasos, ácidos orgánicos, además de otras moléculas derivadas de la biomasa que no son comestibles. Esta amplia gama de materias primas abarca una gran cantidad de sustancias que tienen las características requeridas para producir biodiesel o etanol por las vías regulares, haciendo a un lado el dilema ético de transporte *versus* alimento.

#### **Reflexión final**

 Ahora, la gran pregunta: ¿cuándo estarán disponibles los combustibles verdes para el uso comercial? Quizás ésta es la característica más prometedora de esta alternativa tecnológica. Partiendo de que los combustibles verdes se producen a través de los mismos procesos utilizados actualmente para transformar petróleo en gasolina y diesel, algunos investigadores han propuesto “agregar” las materias primas derivadas de la biomasa al crudo de petróleo,

y que sean procesados simultáneamente. Esto daría como resultado gasolina y diesel con un porcentaje de contenido “amigable con el ambiente”; es decir, si en México se agregara al crudo de petróleo tanto como un 5% de materias primas que conservan el ciclo atmosférico de CO<sub>2</sub> (biomasa), las emisiones que provocan el desbalance se disminuirán en más de 1 600 000 toneladas al año. Esto equivale a que ¡más de 700 000 vehículos dejasen de circular por un año! Así, lograríamos contribuir al ambiente haciendo lo mismo que estamos haciendo ahora; hay que imaginar lo que el esfuerzo ecológico de nuestro país, junto con la ayuda de los combustibles verdes, podría lograr por el planeta. Como un beneficio adicional, la vida útil de las reservas petroleras también sería incrementada en una fracción equivalente, cosa muy relevante para una nación cuya economía se apoya de manera importante en la producción petrolera.

Para terminar, es sumamente importante recalcar que el uso de cualquiera de estos combustibles “ecológicos” no evita en ninguna forma la responsabilidad que tenemos todos de hacer lo que está a nuestro alcance para disminuir las emisiones y atenuar el efecto invernadero: tomar el transporte público, compartir el auto, caminar o utilizar la bicicleta; son acciones que debemos realizar siempre que nos sea posible, ya que para atenuar el calentamiento global, cada gramo de CO<sub>2</sub> no emitido cuenta.

#### **Manuel Díaz de León Cabrero**

Egresado de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.  
iq.manuel.dl@gmail.com