

La economía política y la ecología de los biocombustibles

Fred Magdoff

Trasfondo

El enorme aumento de los precios del petróleo y otros combustibles en los pocos últimos años y la preocupación por que hayamos alcanzado (o alcancemos pronto) el pico de producción de petróleo, tras el cual la extracción de crudo comenzará a disminuir, han generado un renovado interés por las fuentes alternativas de energía. Entre estas figuran la energía solar y eólica, la procedente de las olas y las mareas, la geotérmica y los biocombustibles. A veces se habla, de dientes para afuera, de la necesidad de una mayor eficiencia energética, de cambiar el estilo de vida (incluidos la irracional sobredependencia, en términos ecológicos, del vehículo privado y el hecho de residir lejos del trabajo), de la necesidad de rediseñar la actividad económica, desde la fábrica hasta los despachos y los hogares, y de la necesidad de que las sociedades ricas abandonen los siempre crecientes niveles de consumo. Sin embargo, un análisis radical que pretendiera hacer realidad verdaderamente todas esas medidas llevaría a cuestionar los fundamentos mismos del funcionamiento del capitalismo.

Las fuentes alternativas de combustible son atractivas porque pueden desarrollarse sin cuestionar el funcionamiento mismo del sistema económico. Se trata tan solo de sustituir las cantidades finitas de petróleo, más con-

• Artículo publicado en *MR*, vol. 60, nº 3, julio-agosto de 2008, pp. 34-50. Traducción de Joan Quesada. Fred Magdoff es profesor emérito de Ciencias de las Plantas y del Suelo en la Universidad de Vermont, en Burlington (EE.UU.); profesor adjunto de Cultivos y Suelos en la Universidad de Cornell, y director de la Fundación Monthly Review.

taminante y más caro, por una energía más «sostenible», «ecológicamente sana» y «renovable». La gente espera la receta mágica para «resolver» el problema de forma que las sociedades capitalistas puedan seguir adelante con su modelo despilfarrador de consumo y crecimiento con la mínima perturbación. Aunque es posible que los precios de los combustibles bajen algo (en fases de descenso del ciclo económico, por el aumento de las tasas de producción o por el estallido de la burbuja especulativa de los mercados de futuros del petróleo), lo más probable es que se mantengan en niveles históricamente elevados mientras las reservas de combustibles fácilmente extraíbles siguen descendiendo en proporción al uso anual.

La utilización de la materia biológica, procedente de plantas recientemente vivas, cuenta con una larga historia. Muchas noches, los primeros humanos se sentaban en torno a una hoguera de leña para cocinar, mantenerse calientes y protegerse de los depredadores. En los primeros años de la colonización de las Grandes Llanuras estadounidenses por inmigrantes europeos en el siglo XIX, se recogía el estiércol seco de búfalo y se usaba como combustible. Aún hoy en día, la leña se utiliza como fuente de combustible en algunos países, el estiércol de vaca seco se sigue recogiendo en la India para ese mismo fin y, en muchos lugares del mundo, los restos de las cosechas se usan para cocinar y/o para calentarse. Además, el gas natural (metano) producido por pequeños sistemas de estiércol líquido (animal y humano) se ha utilizado durante años en China y en la India para la iluminación, la alimentación y el cocinado de alimentos. Más aún, las plantas de tratamiento de aguas residuales de los climas septentrionales han utilizado durante décadas el gas natural producido en el proceso de tratamiento para calentar los tanques durante las estaciones frías a fin de incrementar la eficiencia de los microorganismos de la planta o de producir electricidad.

La producción de bebidas de alto contenido alcohólico a partir de cereales, uva, caña de azúcar, patata, etc. tiene una larga historia, y ha dado como resultado distintos tipos de bebidas fermentadas como la cerveza y el vino y, posteriormente, destilados alcohólicos como el whisky, el vodka y el ron. Durante décadas, Brasil ha producido etanol (un tipo de alcohol) mediante el destilado del producto de la fermentación del jugo de la caña de azúcar.

Fundamentos de los biocombustibles

La idea que subyace a los biocombustibles es que las plantas captan la energía del Sol y producen sustancias (azúcares, fécula, aceites, celulosa)

que pueden cultivarse y después transformarse en fuentes de energía que podemos utilizar. Cultivar plantas para producir combustible se supone que es más ecológico porque, a diferencia del petróleo y la gasolina, que desprenden nuevo dióxido de carbono en la atmósfera al ser quemados, cuando se utiliza la energía de los biocombustibles, el dióxido de carbono que regresa a la atmósfera es simplemente el mismo que las plantas habían eliminado hace poco.

Los Estados Unidos se enfrentan actualmente a una crisis de combustibles líquidos más que a una crisis energética generalizada. Así pues, lo que más interesa en la actualidad es producir combustibles líquidos, como el etanol y el biodiésel, que pueden utilizarse para abastecer los automóviles y los camiones. Hay tres elementos relacionados con los biocombustibles: la materia biológica que se utiliza (la materia prima), el proceso de transformación de la materia prima en combustible y el tipo de combustible que en realidad se produce.

Los cuatro tipos principales de combustible son: (a) de combustión directa (de madera o de residuos de las cosechas); (b) etanol (producido a partir de azúcares, fécula o celulosa); (c) biodiésel (producido a partir de cultivos de aceites o de aceite desechado de cocina), y (d) metano (gas natural, producido a partir de la biodegradación de estiércoles animales o de las aguas residuales de los humanos). La combustión directa es la forma más simple de obtener energía a partir de materia biológica. Es la que requiere un menor procesamiento: tan solo astillar o trocear la materia para obtener partículas más pequeñas que quemen con más facilidad. Los residuos pueden secarse o quemarse con su contenido natural de agua. Este tipo de combustible se puede utilizar para calentar agua o edificios, o para producir electricidad mediante la generación de vapor. La materia prima destinada a la combustión directa está formada principalmente por restos de cosechas y astillas de madera.

El etanol es un líquido que puede usarse para alimentar automóviles y, por eso, ha recibido una gran atención. En Estados Unidos, se suele mezclar con gasolina en una proporción de un 10% de etanol, aunque hay motores capaces de funcionar con un 100% de etanol. El etanol se produce de forma comercial mediante la fermentación de azúcar procedente de cultivos ricos en azúcar (sobre todo caña de azúcar) o mediante la conversión de las féculas de cultivos tales como el maíz y la mandioca en azúcares y la posterior fermentación de los azúcares. Convertir fécula en azúcar es bastante sencillo, pero, aun así, es mucho más caro producir etanol a partir de plantas ricas en fécula que a partir de plantas ricas en azúcar. Cuando finaliza la fermentación, el etanol, que representa solo un 10% de

la mezcla final obtenida, hay que destilarlo cuatro veces para enriquecer dicha mezcla hasta el 99,5% a fin de utilizarlo después como aditivo de la gasolina, lo que requiere una cantidad de energía muy elevada.

Casi todo el etanol de los Estados Unidos se produce a partir del uso de grano de maíz como materia prima. A finales de 2007, había 134 instalaciones que producían aproximadamente 26.500 millones de litros de etanol. Otras 66 plantas estaban en construcción, y diez de las plantas ya existentes se estaban ampliando. Se calculaba que un 20% de la cosecha de maíz de 2007 se había utilizado para producir etanol, y se esperaba que en pocos años se llegaría al 30%, aunque la cifra podría ser significativamente mayor (véase más adelante). El etanol producido a partir de grano de maíz como materia prima representa el porcentaje mayoritario del biocombustible que se utiliza actualmente en los Estados Unidos.

El «santo grial» de la producción de etanol es encontrar un proceso económicamente viable para convertir la celulosa en etanol. La celulosa es un material que forma parte de la estructura de las plantas, y la mayoría de estas contienen cantidades abundantes de dicha sustancia. Se ha sugerido que los restos de las cosechas o hierbas tales como el pasto varilla (*panicum virgatum*), que se cultiva para aprovechar su contenido en celulosa, podrían ser convenientemente utilizados como materia prima para la producción de etanol (cuando el precio del proceso de transformación sea lo bastante barato). En algún momento, tal vez sea económicamente viable utilizar madera o hierba como materia prima para la producción de etanol. Cuánta energía se obtenga en realidad en el proceso es una cuestión aún por resolver. Independientemente de si se obtiene energía en el proceso o no, la transformación de la celulosa en etanol necesitará unos 36 kg. de materia vegetal para obtener poco menos de cuatro litros de gasolina (un galón o 3,78 litros), lo que representa más de 3,5 veces el peso de grano de maíz que hace falta para producir una cantidad equivalente de ese agrocombustible.

El biodiésel se puede producir a partir de aceites vegetales de plantas como la soja, la palma y la colza. El biodiésel es el biocombustible más común en Europa, pero también se produce en pequeñas cantidades en los Estados Unidos.

El metano (gas natural) suele producirse mediante la digestión anaerobia (sin oxígeno) de estiércoles animales líquidos o de sedimentos de aguas residuales y la posterior captación del gas emitido. Durante años, las granjas de productos lácteos que utilizan estanques para recoger el estiércol han producido electricidad mediante la captura y la quema del metano producido durante el proceso de biodegradación.

Hay otros procesos y productos finales relacionados con los biocombustibles. Por ejemplo, un proceso importante es la pirólisis: la descomposición a alta temperatura de materias primas como el pasto varilla en ausencia de oxígeno. El producto final de este proceso puede ser un gasóleo sintético o singas (gas sintético), una mezcla que contiene hidrógeno y monóxido de carbono y que puede quemarse para producir energía o transformarse en metanol (otro alcohol líquido). Los restos carbonizados pueden añadirse después a la tierra o pueden quemarse para aprovechar la energía que aún contienen.

Como decíamos antes, el término biocombustible se aplica a los combustibles derivados de distintos materiales, desde la madera hasta el estiércol. En este artículo, utilizaremos el término agrocombustibles para referirnos únicamente a los combustibles producidos a partir del uso de plantas cultivadas en sistemas agrícolas, tanto si el cultivo puede utilizarse para la alimentación humana como si no. Debido a la importancia que tienen en los Estados Unidos y a los diversos efectos negativos que están teniendo, el resto del artículo se centrará básicamente en la producción de etanol a partir de grano de maíz. Sin embargo, también haremos referencia a otros agrocombustibles.

Aspectos energéticos y económicos de los agrocombustibles

El etanol es un combustible líquido que posee unos dos tercios del valor energético de la cantidad equivalente de gasolina. En los Estados Unidos suele utilizarse en una mezcla de E-10 (10% de etanol y 90% de gasolina) porque no requiere ninguna modificación del motor de la mayoría de automóviles. Sin embargo, la industria del etanol persigue la existencia de más motores de automóvil capaces de utilizar E-85 (85% de etanol y 15% de gasolina), y algunos estados están imponiendo una mezcla superior al 10%. El etanol no se puede transportar por los oleoductos junto con la gasolina porque se separa de la mezcla cuando hay humedad presente, así que hay que transportarlo en camiones hasta los lugares en que se efectúa la mezcla con la gasolina.

Existe una considerable controversia sobre la cantidad de energía que se obtiene con la producción de agrocombustibles en general y, en particular, con la producción de etanol a partir de grano de maíz como materia prima. Casi todo el etanol que se produce en los Estados Unidos utiliza el maíz como materia prima. Se utiliza una gran cantidad de energía para la producción de etanol, desde la energía que se emplea para la producción

de maíz y para su transporte hasta la planta de etanol, hasta la que se requiere para la fermentación y la destilación. La energía utilizada en la producción de maíz incluye la del trabajo, la maquinaria, el gasóleo, los fertilizantes (un tercio aproximadamente de la energía total utilizada en la producción se dedica exclusivamente a los fertilizantes de nitrógeno), semillas, riego, pesticidas y transporte. Como señala la Agencia de Protección Medioambiental estadounidense, «la producción de etanol es un proceso relativamente intensivo en recursos que requiere el uso de agua, electricidad y vapor. El vapor que hace falta para elevar la temperatura del proceso se produce por lo general in situ o por medio de otras calderas destinadas a ello. De las 110 instalaciones actuales [2006] para la producción de etanol, 101 queman gas natural; 7 de ellas queman carbón y biomasa, y 1 quema la pasta del proceso para producir vapor».¹

Cuando se tiene en cuenta la energía necesaria en todo el proceso para la producción de etanol, la mayoría de los cálculos indican que la energía obtenida es relativamente poca, y va desde el 0% (o una cifra negativa) hasta tal vez el 20%. David Pimentel, de la Universidad de Cornell, y sus colaboradores han encontrado, de hecho, que existe una pérdida neta de energía.² En otras palabras, calculan que se emplea más energía para producir etanol de la que en realidad proporciona el etanol producido. Es común que se pierda una gran cantidad de energía en la transformación de cualquier fuente de combustible a otro tipo de energía; por ejemplo, solo un tercio aproximadamente de la energía del carbón se recupera en forma de electricidad utilizable en las centrales de generación eléctrica que queman carbón. Y aun así, ¡uno de los principales intereses de los agrocombustibles es que se supone que liberan de la dependencia (o reducen la dependencia) de otras fuentes de energía! Parece que todo el proceso consiste básicamente en transformar gas natural, carbón y otros combustibles (por ejemplo, el gasóleo para los tractores, el gas natural para fabricar los fertilizantes de nitrógeno, el carbón que alimenta las plantas de producción de etanol) en etanol a través de la siembra, la cosecha y el procesamiento de cultivos.

Tomemos como cierta, sin embargo, una de las estimaciones más optimistas según la cual se produce de hecho una ganancia de energía de un 20% en la producción y transformación de grano de maíz en etanol. Eso significa que hay que producir 6 litros de etanol para obtener una ganancia neta de energía de 1 litro de etanol. Como se necesita aproximadamente una fanega (35,23 dm³) de maíz para producir aproximadamente 9,5 litros de etanol, una producción de 150 fanegas de maíz por acre de tierra se traduce en unos 1.425 litros de producción total de etanol, pero solo en

unos 237 litros de nueva energía neta de etanol (con el mismo contenido energético que unos 163 litros de gasolina). Solo el coste del maíz que se utiliza como materia prima, al precio actual de algo más de 5 dólares la fanega, implica que solo el coste del principal insumo resulta ser de unos 3,20 dólares por litro de nueva energía en forma de etanol [(150 fanegas x 5 dólares fanega / 237 litros de nueva energía neta de etanol], o unos 12 dólares por galón [3.78 litros]. ¡Y eso si asumimos que existe una ganancia neta de energía! (En Estados Unidos se cultivaron 87 millones de acres de maíz en 2007, con una producción total de 13.000 fanegas y una producción por acre de 151 fanegas. Se emplearon unos 2.800 millones de fanegas en producir unos 26.450 litros de etanol.)

Aunque un gran porcentaje de la cosecha estadounidense de maíz continúa utilizándose para la alimentación de ganado (casi la mitad de la cosecha en 2007), examinemos todas esas cifras desde la perspectiva de la alimentación humana. Unos 250 kg. de maíz pueden proporcionar a una persona suficientes calorías para un año. (La gente debería, por supuesto, ingerir una dieta variada, y no solo grano, pero esto nos proporcionará una forma de comprender lo que implica destinar tanto grano a la producción de combustible.) Ciento cincuenta fanegas por acre, a 28 kg. por acre, representan una producción de unas 4,2 toneladas de maíz, suficiente como para satisfacer gran parte de las necesidades nutricionales de 16 personas. Así pues, aun con la tasa optimista de conversión que utilizábamos antes, los 237 litros de nueva energía neta de etanol (equivalentes a unos 163 litros de gasolina, y que representan unos dos depósitos de combustible de un todoterreno) requieren el grano que podría satisfacer las necesidades caloríficas de dieciséis personas en un año si se utilizara directamente para la alimentación. Y, por supuesto, si seguimos los cálculos más realistas de producción neta de energía, lo que tenemos es una pérdida de energía, y todo el grano se desperdicia.

Aun utilizando uno de los cálculos optimistas de ganancia neta de energía mediante la producción de etanol a partir de grano de maíz y de biodiésel a partir de soja, la máxima contribución posible de los biocombustibles no puede suponer más que un pequeño porcentaje del combustible que se utiliza para el transporte. Si se empleara la totalidad de la cosecha de maíz y de soja de los Estados Unidos para la producción de agrocombustibles, la ganancia neta de energía según cálculos optimistas equivaldría tan solo a un 2% del consumo de gasolina y un 3% del consumo de gasóleo del país.³

Además del precio relativo del maíz con respecto al aceite, la economía de la producción de agrocombustibles está fuertemente influida por el sis-

tema de incentivos y subsidios gradualmente instaurado con los años desde la década de 1970. Con un subsidio directo de 51 centavos por galón (3,78 litros) de etanol mezclado con gasolina (dado que una fanega de maíz puede producir 2,5 galones [9,5 litros] de etanol, el subsidio es de 1,43 dólares por fanega de maíz) más otros incentivos (véase más abajo), la mayoría de las plantas pueden producir etanol de forma económicamente rentable con un precio de 7 dólares por fanega si el precio del petróleo está por encima de los 100 dólares el barril. En los últimos pocos años, el precio del maíz básicamente se ha elevado, aunque con frecuencia ha experimentado repuntes y caídas (igual que el precio del petróleo). Las plantas de etanol, con unos costes de producción relativamente elevados, permanecían inactivas cuando el precio del maíz repuntaba, hasta que la ratio de precios del maíz y del petróleo se tornaba más favorable. La mayoría de los granjeros estadounidenses que se dedican al maíz cultivan también soja, y la cantidad de maíz o de soja que cultivan depende no solo del precio previsto para cada uno de los cultivos, sino también de sus costes de producción. Con la previsión de precios de ambos cultivos para el año 2007 y con los costes de los fertilizantes de nitrógeno próximos a triplicarse en ese año, en 2008 la mayoría de los agricultores decidieron plantar menos maíz y más soja, que puede abastecerse con su propio nitrógeno.

Existen diversas maneras de subvencionar la industria de los agrocombustibles. Unos cuantos ejemplos clave son:

- La legislación federal, convertida en ley en 2007 (en la llamada Ley de Independencia y Seguridad Energética de 2007), pretende incrementar la producción hasta al menos 34.000 millones de litros [9.000 millones de galones] de agrocombustibles en 2008, y hasta 136.000 millones de litros [36.000 millones de galones] al año para 2022. Aunque se supone que 79.400 millones de litros [21.000 millones de galones] de esa cifra obligatoria procederán de fuentes actualmente experimentales («avanzadas» o «de segunda generación»), el resto de esa cantidad aún procederá de doblar la cantidad de etanol producido a partir de maíz con respecto al nivel de producción de 2007. Las instrucciones a los productores de combustibles de utilizar cada vez cantidades mayores de etanol hasta 2022 genera una demanda artificial de etanol que contribuye a mantener los precios por encima del nivel en que estos estarían de no ser así. (En Europa, el objetivo actual es utilizar un 10% de agrocombustibles para el 2020.)
- Los aranceles de importación de 2,4 centavos por galón [3,78 litros], más otros 54 centavos por galón para determinados países de origen

(básicamente Brasil), que sirven para mantener el precio del etanol por encima del nivel en el que estarían de no aplicarse ese arancel, se calcula que ascendieron a 1.000 millones de dólares para la industria en 2006 y se preveía que se elevaran hasta los 3.000 millones de dólares.

- Existe una subvención de 51 centavos por galón, tal y como ya hemos comentado, para el etanol mezclado con gasolina (llamado Crédito Fiscal Interno sobre Volumen de Etanol o VEETC en sus siglas en inglés).
- Algunos estados cuentan con subsidios propios superpuestos a las subvenciones federales.
- Existe un pequeño crédito fiscal para los productores de etanol y biodiésel con menos de 225 millones de litros [60 millones de galones] de producción anual.
- Y, por último, existe un subsidio directo a los productores de maíz.

Se calcula que las subvenciones totales a la producción de etanol en los Estados Unidos ascenderán a entre 9.000 y 11.000 millones de dólares en 2008, o a entre 1,10 y 1,30 dólares por galón [3,78 litros] de etanol producido.⁴ Es aproximable el doble del subsidio directo por galón que reciben los productores de etanol.

En el momento de enviar a prensa el presente artículo, el Decreto Agrícola quinquenal estadounidense se ha convertido en ley. Este incluye los siguientes aspectos en relación con los subsidios a los agrocombustibles: (a) una disminución de 6 centavos del subsidio directo a la producción de etanol (que pasará a ser ahora de 45 centavos por galón); (b) el mantenimiento del impuesto de 54 centavos el galón para las importaciones de etanol; (c) un subsidio directo de 1,01 dólares por galón para el etanol derivado de la celulosa; (d) 320 millones de dólares en garantías de préstamos para la construcción de plantas «avanzadas» de producción de agrocombustibles, y (e) apoyo financiero a los agricultores próximos a las plantas de etanol que utilizan celulosa para experimentar con los cultivos y aprovisionarlas de materia prima. Así pues, aunque se introducen algunos cambios en el sistema de subvenciones a los agrocombustibles, se incrementa el impulso general tendente a la utilización de cultivos y terrenos agrícolas para la producción de materia prima destinada a producir etanol.

En Estados Unidos, la industria de los biocombustibles está fuertemente concentrada, y Archer Daniels Midland (ADM) controla 3.800 millones de litros de producción al año, de una capacidad total de producción de algo más de 30.000 millones de litros anuales. Los tres mayores product-

res (ADM, POET y VeraSun) controlan cerca del 40% del mercado de etanol estadounidense. Y ADM ha estado adquiriendo cooperativas agrícolas de producción de etanol con problemas, además de invertir en incrementar su capacidad productiva.

En abril de 2008, las 147 plantas de etanol tenían una capacidad total de producción de 32.000 millones de litros. Se estaban edificando otros 19.000 millones de litros de capacidad (en forma de plantas de nueva construcción o ampliaciones de las ya existentes), para alcanzar a finales de año una capacidad total de unos 50.000 millones de litros.⁵ Si tenemos en cuenta la productividad media de maíz, toda esa capacidad productiva consumirá unos 5.200 millones de fanegas, la cantidad de maíz que producen aproximadamente 35 millones de acres. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos prevé que en 2008 se plantarán unos 86 millones de acres de maíz, con una producción total de 12.100 millones de fanegas, 1.000 millones menos que en 2007. Así pues, la capacidad de producción de etanol podría consumir un 40% de la cosecha estadounidense de maíz para el 2008. Eso mantendrá la presión al alza sobre los precios del maíz, aun si no se utiliza toda la capacidad de procesamiento añadida.

La política de los agrocombustibles

El desarrollo de una gran capacidad de producción de etanol en los Estados Unidos constituye un asunto bastante sórdido, en el que ADM interpreta el papel principal. ADM, una empresa de 44.000 millones de dólares anuales, es uno de los mayores compradores, vendedores y procesadores de cultivos de grano y aceite del mundo. Gran parte de sus beneficios se han basado en la generosidad del Gobierno federal. En 1995, el conservador Instituto Cato publicó un análisis político sobre los beneficios obtenidos por ADM de los programas gubernamentales. Se calculaba que el 43% de los beneficios de la empresa procedían de productos fuertemente subvencionados por el Gobierno y que cada dólar de beneficio obtenido por la producción de etanol le cuesta a los contribuyentes 30 dólares.⁶

El presidente de ADM, Dwayne Andreas (cuyo hijo pasó algún tiempo en prisión, junto a dos ejecutivos más de la empresa, por fijación de precios de un aditivo alimentario), donó grandes sumas de dinero tanto a republicanos como a demócratas desde los tiempos de la Administración Nixon hasta los años de Clinton. En el momento en que los ejecutivos de la compañía fueron condenados, el *New York Times* (10 de julio de 1999) describía del siguiente modo la influencia de Andreas: «Durante décadas,

el gigante del grano fue dirigido casi como un feudo familiar por la mano de hierro de Dwayne Andreas, uno de ejecutivos del país con mayor poder político, conocido tanto de presidentes como de primeros ministros». Había comprado el acceso a presidentes y a los líderes tanto del Congreso como del Senado. La cantidad de dinero que Andreas distribuyó entre los políticos fue sustancial, y las contribuciones se mantuvieron a lo largo de muchos años. Cuando la OPEP restringió los cargamentos de petróleo a finales de la década de 1970, la Administración Carter logró la aprobación por el Congreso de una exención del impuesto federal de 4 centavos por galón para el combustible con un 10% o más de etanol (E-10). La historia continúa de manera similar hasta el presente, con formidables y continuas campañas de grupo de presión para ejercer influencia sobre el Congreso y sobre otras diversas administraciones. Algunas figuras políticas, como el ex senador Robert Doyle, llegaron a estar especialmente identificadas con ADM y con las presiones al Gobierno para que apoyara la producción de etanol. Eso dio pie a inyecciones de dinero público para la construcción de nuevas plantas de etanol (algunas de las cuales cayeron en la bancarrota), a la concesión a los productores de etanol de maíz gratuito (a mediados de la década de 1980) y a la creación de subvenciones de diversos tipos (como las que hemos discutido más arriba) que se han mantenido vigentes hasta la actualidad.

La ecología de los agrocombustibles

El rápido y fuerte aumento del precio del petróleo ha hecho más atractivo el uso de combustibles líquidos alternativos, sobre todo con las sustanciales subvenciones gubernamentales que reciben. Sin embargo, la utilización de grandes cantidades de cultivos potencialmente alimentarios (sobre todo el maíz y la soja, pero también otros cultivos como la palma) para producir combustible es uno de los factores importantes que contribuyen a la actual crisis alimentaria mundial.⁷ El aumento de los precios de todos los alimentos básicos ha golpeado con más fuerza, por supuesto, a los países más pobres (sobre todo a aquellos que importan cantidades significativas de alimentos), aunque los pobres de todos los países del mundo han salido perjudicados. Ya ha habido disturbios alimentarios en muchas regiones, y expresiones de preocupación por la futura estabilidad de unos treinta y tres países. En cierta medida, los precios alimentarios han de aumentar necesariamente según aumenta el precio del petróleo, ya que se utilizan grandes cantidades de energía en la producción de un gran número de

insumos agrícolas, desde fertilizantes y pesticidas hasta la fabricación y la utilización de maquinaria agrícola. Sin embargo, cuando aumenta el precio del petróleo en relación al precio de las materias primas de los agrocombustibles, cada vez resulta más rentable transformar cosechas alimentarias en combustible. Tal y como ha expresado Lester Brown, «la línea que separa la economía alimentaria de la energética se está difuminando y ambas empiezan a fusionarse. En consecuencia, el precio mundial del grano se está elevando ahora hacia el precio del petróleo equivalente. Si el valor alimentario de un producto es menor que su valor como combustible, el mercado lo trasladará a la economía energética». ⁸ Y con el precio del petróleo rondando los 125 dólares el barril en el momento en que se redacta este artículo (16 de mayo de 2008), el etanol producido a partir de maíz es barato en comparación con la gasolina refinada a partir de petróleo.

Además de los efectos perjudiciales sobre el suministro de alimentos a los pobres, existen diversos problemas ecológicos vinculados a la producción de agrocombustibles. Los discutiremos más abajo a partir del ejemplo del maíz cultivado para su transformación en etanol.

Cuestiones ecológicas en la producción de cultivos: calidad y cantidad del agua

Un informe reciente de la Academia Nacional de Ciencias concluía: «Si se producen los aumentos previstos en el futuro del uso de maíz para la producción de etanol, el aumento del perjuicio de la calidad del agua podría ser considerable». ⁹ Gran parte del maíz se cultiva mediante irrigación. Sin embargo, el agua cada vez cuesta más de conseguir porque el acuífero de Oglalla, situado debajo del altiplano de las Grandes Llanuras, desde Texas hasta Dakota del Sur, se está utilizando a mayor velocidad de la que es posible repletarlo. Además, el agua de muchos de los ríos de las zonas secas también se ha agotado debido a un prolongado periodo de sequía. El maíz que se cultiva en esa región utiliza entre 7.500 y 11.500 litros de agua de irrigación para producir una fanega de maíz. (Si incluimos el agua de lluvia, la cantidad total que consume es de unos 19.000 litros.)

Cultivar maíz provoca de forma casi inevitable que penetren en la tierra elevados niveles de nitratos, así como en las aguas superficiales cuando el agua de los campos desagua en arroyos y ríos. La «zona muerta» que se extiende hacia el oeste desde la desembocadura del Mississippi se cree que es consecuencia básicamente de un exceso de nitratos, y se espera que empeore si se cultiva más maíz en respuesta al bum de los agrocombusti-

bles.¹⁰ Los nitratos también son un problema para el agua que beben todo un conjunto de comunidades (grandes y pequeñas) del Medio Oeste. Además, en la producción de maíz se emplean grandes cantidades de herbicidas e insecticidas, y esos productos químicos, o los productos de su descomposición, suelen encontrarse en las aguas subterráneas bajo los campos de maíz. Cultivar más maíz no acarreará sino mayores niveles de contaminación de los acuíferos.

Además de la contaminación del agua por el nitrógeno y los pesticidas, la producción intensiva de maíz que utiliza los sistemas convencionales de labranza propicia la pérdida de una cantidad significativa de suelo debido a la erosión. Aunque existe una tendencia a utilizar sistemas que implican poca o ninguna labranza, aún hay muchos terrenos plantados de maíz que se aran cada año y que son vulnerables a la degradación del suelo por erosión.

Cuestiones ecológicas en la producción de etanol a partir de grano de maíz

Contaminación del aire: ADM es una de las grandes empresas contaminadoras del medioambiente, y en 2008 figuraba en tercera posición en la lista de las cien empresas más contaminantes del Instituto de Investigación de Economía Política.¹¹ Las plantas de etanol de la empresa no son la única fuente de contaminación del aire de ADM. Aun así, si examinamos el permiso de construcción para la modificación de una de sus plantas, tendremos una idea de la contaminación aérea que provoca la producción de ese combustible «limpio». Se espera que la planta arroje cada año unas emisiones de 540 toneladas de compuestos orgánicos volátiles (COV), 1.500 millones de toneladas de óxidos de azufre, 1.200 millones de toneladas de monóxido de carbono, 840 toneladas de óxidos de nitrógeno y 150 toneladas de peligrosos contaminantes del aire.¹²

Aunque el uso de etanol en lugar de gasolina en los automóviles hace disminuir las emisiones de monóxido de carbono y, posiblemente, de otros contaminantes, aumenta en cambio las emisiones de compuestos orgánicos volátiles. Al parecer, uno de los efectos colaterales del uso del etanol ha sido el aumento de ozono y de la niebla tóxica [*smog*] en el aire de California, después de sustituir el MTBE (conocido cancerígeno) por el etanol como aditivo del combustible.¹³

Consumo/contaminación del agua: Suponiendo que se recicle una cantidad significativa del agua que se utiliza (lo que consume energía), hacen

falta unos cinco litros de agua fresca para producir la mezcla de fermentación que requiere la producción de un litro de etanol. Una planta de etanol que produzca 375 millones de litros al año utilizará la misma cantidad de agua que una población de 5.000 personas. El temor a la extracción excesiva de agua de los acuíferos ha provocado una considerable oposición a las plantas en algunas comunidades. Además, por cada litro de etanol que se produce se vierten entre 5 y 13 litros de aguas residuales. Esas aguas residuales pueden causar notables daños si se vierten directamente a los conductos y es preciso tratarlas para reducir el contenido contaminante.

Problemas con otros agrocombustibles

En este artículo nos hemos centrado en la situación de los Estados Unidos, donde el etanol, producido a partir de grano de maíz, es con mucho el agrocombustible más importante. Sin embargo, también existen problemas sociales y ecológicos relacionados con el uso de otros agrocombustibles. Un artículo de *Science* concluye que, aunque algunos agrocombustibles tal vez generen menos gases de efecto invernadero que la gasolina, «tienen mayores costes medioambientales agregados que la gasolina» si se tienen en cuenta la contaminación del aire y del agua, la degradación de los suelos y los efectos sociales.¹⁴

El empleo de la caña de azúcar en Brasil como materia prima para la producción de etanol es más razonable que la utilización de grano de maíz como materia prima (de hecho, existe una ganancia neta de energía cuando se parte de la caña de azúcar). Sin embargo, la contaminación del aire asociada a la producción de etanol y a los humos del tubo de escape de los vehículos, así como la contaminación del agua de las plantas de etanol, comportan la existencia de importantes inconvenientes medioambientales.¹⁵ Además, claro está, se utilizan también tierras que podrían emplearse de mejor forma para suministrar alimentos a una población malnutrida.

La transformación de los bosques tropicales de Indonesia y Malasia para el cultivo de palma, fundamentalmente para satisfacer los deseos europeos de tener una fuente «verde» de combustible biodiésel, ha provocado sustanciales daños medioambientales. Estos se han producido fundamentalmente por la tala y la quema de bosques y, posteriormente, por la alteración de los suelos del bosque para plantar la palma. Eso ha generado la emisión a la atmósfera de enormes cantidades de dióxido de carbono, de efecto invernadero, además de transformar un ecosistema forestal biológicamente diverso en un monocultivo. Se calcula que son necesarios más de

400 años de cultivo de palma para la producción de biodiésel a fin de «compensar» el dióxido de carbono emitido a la atmósfera con la transformación del bosque para su producción.¹⁶ Así pues, producir la materia prima de un biodiésel supuestamente «verde» provoca una importante degradación ecológica.

El desarrollo de la industria de los agrocombustibles mediante la utilización de una considerable cantidad de la cosecha de maíz estadounidense para la producción de etanol y mediante el empleo de soja para la producción de biocombustibles desencadena una reacción en cadena en el extranjero que provoca la destrucción de los bosques. Según un artículo reciente de la revista *Time*:

En Brasil [...] solo una pequeña porción de la Amazonia se está derribando para cultivar la caña de azúcar que sirve de combustible a la mayoría de los coches brasileños. Es mayor la deforestación que se está produciendo como consecuencia de una reacción en cadena tan extensa que resulta sutil: los agricultores estadounidenses están vendiendo una quinta parte de su cosecha para la producción de etanol; así pues, los agricultores que cultivaban soja se están pasando al maíz; en consecuencia, los agricultores brasileños que cultivan soja están expandiendo sus cultivos y están utilizando para ello terrenos de pasto para el ganado; por consiguiente, los ganaderos brasileños están siendo desplazados hacia la Amazonia. «El precio de la soja sube», se lamenta Sandro Menezes, biólogo de Conservación Internacional en Brasil, «y caen los bosques» («The Clean Energy Scam» [El chanchullo de la energía limpia], 28 de marzo de 2008).

Hay una subvención de un dólar por cada galón [3,78 litros] de biodiésel que se mezcla con gasóleo convencional para exportar desde los Estados Unidos. Eso ha provocado una ridícula situación de «salpica y corre»: «Salpica y corre es cuando el biodiésel se transporta hasta los Estados Unidos en barco, a veces desde Europa, solo para añadirle unas gotas de gasóleo ordinario y aprovecharse del dinero público que se entrega por cualquier tipo de refinado realizado en los Estados Unidos» (*Guardian*, 9 de abril de 2008).

La *jatropha*, una planta que crece en terrenos poco productivos de la India y de África, se ha promocionado como planta que sirve de materia prima para el biodiésel y puede ser cultivada por pequeños productores sin dañar la producción de alimentos. (Sus semillas contienen un 30% de aceite, aproximadamente el mismo porcentaje que la colza). La planta puede producir una cantidad relativamente grande de aceite que puede transformarse en biodiésel. Sin embargo, los terrenos «poco productivos» suelen servir para alimentar el ganado, aunque la productividad no sea mucha.

Además, se necesita una considerable cantidad de agua para que el cultivo agarre allí donde se desee plantarlo, y en condiciones áridas la producción de aceite por acre es reducida. La productividad es notablemente mayor y la producción resulta más económica si se utilizan mejores tierras con la ayuda de sistemas de irrigación, lo que genera presiones sobre el empleo de la tierra para producir alimentos. Otro problema es que la planta es venenosa y ha provocado el envenenamiento accidental de niños y animales en la India. Una empresa británica, D1, ha plantado unos 475.000 acres (192.000 hectáreas) de *jatropha* en la India y en África (*Guardian*, 9 de abril de 2008).

Se ha fomentado la utilización de plantaciones de árboles para la producción de celulosa a fin de transformarla en etanol, un proceso que aún está por demostrar que sea económicamente viable. La propuesta es utilizar especies de crecimiento rápido, algunas de ellas genéticamente modificadas, que después se cortarán enteramente para volver a plantar más árboles. Sin embargo, eso significa transformar un ecosistema diverso en un monocultivo. Además, se han desarrollado árboles genéticamente modificados que crecen con mayor rapidez y siempre existe la amenaza de que resulten invasivos y ocupen también otros terrenos distintos de donde han sido plantados.

Se ha fomentado la utilización de restos de cosechas para producir etanol a partir de celulosa como una importante fuente potencial de materia prima para agrocombustibles. Se calcula que en los Estados Unidos se dispone de unos 500 millones de toneladas de dichos restos. Si todos los restos disponibles en los Estados Unidos se recogieran y se transformaran en etanol, la producción (partiendo de que hacen falta unos 9,5 kg. de biomasa para producir un litro de etanol [80 libras para un galón]) sería aproximadamente de un total de 47.250 millones de litros [12.000 millones de galones], aunque se supone que unos 79.500 millones de litros [21.000 millones de galones] de los 136.000 millones de litros [36.000 millones de galones] de etanol decretados para ser producidos en 2022 deben proceder de la transformación de celulosa. (Por supuesto, la cantidad real de nueva energía creada será probablemente de cero.)

Es importante reconocer que los restos de cosechas tienen un papel destacado para el mantenimiento de la fertilidad y la salud general de los suelos. Los nutrientes presentes en los restos de las cosechas regresan a la tierra para ser absorbidos por las cosechas futuras. Los restos también contribuyen a formar y mantener la materia orgánica de los suelos, uno de los aspectos clave de los suelos sanos. Además, los restos sobre la superficie del suelo en los sistemas de labranza reducida rebajan el nivel de erosión, con lo que reducen la contaminación del agua y mantienen en su sitio la

tierra fértil. Algunos científicos creen que una parte de los restos de las cosechas de algunos cultivos puede utilizarse sin afectar negativamente a la salud del suelo. No obstante, dada la importancia de aumentar la materia orgánica de los suelos (para mejorar su calidad y para almacenar carbono a fin de evitar que este pase a la atmósfera), el empleo de una cantidad sustancial de restos de cosechas para producir agrocombustibles puede tener notables efectos negativos sobre la producción agrícola, así como sobre el medioambiente.

Se ha propuesto la utilización de plantas herbáceas como el pasto varilla o los juncos, por ejemplo la cañabrava, originaria del oeste asiático, como futura materia prima, bien para la combustión directa (en forma de producto compactado), o bien para la transformación de celulosa en singas o etanol. El atractivo de utilizar una planta herbácea u otras plantas perennes como materia prima es que los suelos pueden estar sin arar durante muchos años. Aunque harían falta nitrógeno y otros fertilizantes para obtener la máxima producción, es posible que no se necesitaran los pesticidas intensivos que se utilizan en muchos cultivos agrícolas. Sin embargo, una de las cuestiones que se han planteado recientemente en el informe de una conferencia de las Naciones Unidas es que «algunas de las especies más recomendadas habitualmente para la producción de biocombustibles son también especies extranjeras muy invasivas» (*International Herald Tribune*, 20 de mayo de 2008). Por lo tanto, se recomienda tener gran cuidado antes de introducir especies que pueden convertirse en grandes plagas y expulsar a las especies nativas o consumir enormes cantidades de agua.

La combustión directa del pasto varilla produciría diez veces más energía que la empleada en su producción: ¡un resultado excelente! Sin embargo, su transformación en etanol daría como resultado una pérdida neta de energía. La transformación en singas es posible que generara nueva energía neta.

También se ha propuesto utilizar mezclas de especies herbáceas y leguminosas en lugar del monocultivo del pasto varilla. Eso tendría numerosas ventajas ecológicas, ya que las legumbres proporcionarían algún nitrógeno a las herbáceas (así que harían falta menos fertilizantes de nitrógeno) y se mantendría un nivel elevado de biodiversidad vegetal. Sin embargo, habría que tener presente que en la actualidad se utiliza una gran cantidad de terrenos de hierba para alimentar a una enorme cantidad de reses, ovejas y caballos (unos 60 millones de acres se dedican al cultivo de heno, y unos 780 millones de acres al pasto de ganado). Dada la gran cantidad de terrenos boscosos o de difícil acceso, es probable que unos 350 millones de acres de tierra de pastos pudieran cultivarse en realidad con medios mecánicos. Si una cantidad considerable de esos terrenos se dedicara al cultivo

de herbáceas con fines energéticos, ¿cómo se alimentaría a los animales que actualmente se crían en esos terrenos?

Aunque el bum de los agrocombustibles ha generado empleo en el procesamiento de materia prima para su conversión en combustible, sus efectos sociales más amplios han sido decididamente negativos. Tal y como hemos mencionado más arriba, el empleo de una cantidad tan grande de cosechas alimentarias para producir materia prima para combustible es uno de los factores que provocaron los fuertes aumentos del precio de las cosechas y que ha contribuido de forma significativa a la actual crisis alimentaria. Además, la gente que utiliza los bosques para la recolección o para la agricultura de tala y quema en pequeña escala se está viendo expulsada cuando las empresas se hacen con la tierra, destruyen los bosques y plantan monocultivos para producir agrocombustibles o nuevos pastos para sustituir a los pastos reconvertidos para la cultivos destinados a agrocombustibles.

El aumento del precio de las cosechas también ha provocado un aumento de los precios de la tierra, lo que ha ocasionado la expulsión de los pobres de las tierras que tal vez ocupaban sin una clara escritura legal. Además, es difícil que las explotaciones agrícolas de tamaño reducido y mediano compitan por la adquisición de terrenos de precio elevado con el capital privado que se invierte para especular o con los negocios agrícolas de escala industrial fuertemente capitalizados. Eso también eleva los precios del arrendamiento de tierras. Incluso en el corazón del cinturón del maíz, Iowa, los agricultores arriendan más que poseen la tierra (en 2002, aproximadamente un 60% de la tierra era arrendada, y casi un 25% de la renta neta se dedicaba a pagar el arrendamiento). El aumento del valor de la tierra causado por el aumento de los precios de las cosechas (en parte como consecuencia del empleo de una parte considerable de los cultivos de maíz para suministrar materia prima a la producción de etanol) ha hecho que los arrendamientos se doblaran en 2008 con respecto a 2007. El alza del valor de los terrenos agrícolas en otros países otorga una clara ventaja a los agricultores más ricos y a los inversores por encima de los agricultores de pequeña y mediana escala.

Conclusiones

El deseo de encontrar una «receta mágica» para resolver el problema del encarecimiento de los combustibles, así como el espectro de un descenso del combustible disponible, ha provocado una carrera para adoptar y

fomentar los agrocombustibles. Las bases para emprender esta vía las sentaron influyentes intereses comerciales (muy en particular ADM) durante décadas. Se trata de un enfoque que ha recibido también un notable apoyo de intereses agrícolas preocupados por los bajos precios de los cultivos y por los ecologistas que han visto en los agrocombustibles una forma de reducir las emisiones de CO₂, así como de disminuir el uso de MTBE como aditivo en los combustibles. Algunos grupos ecologistas se han subido al tren, igual que han hecho los productores de maíz y de soja. Incluso algunas compañías petroleras se han subido al tren, como BP, que ha creado su propia división de biocombustibles. Y la familia Rockefeller está intentando convencer ahora a Exxon de que desarrolle una división de biocombustibles. Los intereses locales presentes en los estados que cultivan maíz y soja también han considerado que las plantas de procesamiento para la producción de etanol y biodiésel eran una forma de crear empleos en las comunidades rurales.

Y el atractivo del bum de los agrocombustibles radicaba en que todos esos efectos beneficiosos se producirían sin provocar ningún cambio real en la forma de vivir de las personas ni cuestionar un sistema económico que, por su propia naturaleza, debe continuar creciendo. Sin embargo, ahora que se están sembrando notables cantidades de cultivos destinados a dicha industria, se están haciendo visibles sus efectos negativos sociales y medioambientales.

El empleo de terrenos agrícolas para cultivos destinados a la producción de combustibles no debería realizarse hasta que todas las personas del mundo dispusieran de una dieta satisfactoria. Con unas previsiones de aumento de la población mundial de los actuales 6.700 millones a más de 9.000 millones para mediados de siglo, se necesitará todo el suelo agrícola para suministrar alimentos, a pesar de la previsión de incremento de la productividad por acre de tierra. Cuando se tienen en cuenta todas las fuentes de energía necesarias para cultivar y procesar las cosechas, la mayoría de los agrocombustibles de la generación actual producen una ganancia nula de energía o una pérdida de esta. Así pues, dada la reducida ganancia neta de energía o la pérdida de esta; dada la contaminación asociada al cultivo y procesamiento de las cosechas, y dados los efectos que el uso de dichas cosechas está teniendo sobre los precios de las cosechas alimentarias, muchas personas (incluso dentro de la comunidad ecologista) están empezando a cuestionar que sea realmente inteligente tan exuberante desarrollo de la capacidad de producción de biocombustibles. Hasta los republicanos del Congreso están comenzando a replantearse las elevadas metas de producción de etanol y han pedido a la Agencia de Protección Ambien-

tal que rebaje los requerimientos incluidos en la ley aprobada en 2008 («Corn Ethanol Loses More Support» [El etanol a partir de maíz pierde más apoyos], *Wall Street Journal*, 3 de mayo de 2008).

Existen respuestas ecológicamente sanas a los elevados costes de la energía y la merma del petróleo disponible. Algunas de ellas requieren pequeños cambios como el uso bombillas energéticamente más eficientes o una ligera reducción de la velocidad de circulación en las carreteras. La generación de energía eólica, geotérmica, solar y la electricidad generada a partir de las olas marinas, aunque no están libres de problemas, representan mejores fuentes alternativas de energía que los agrocombustibles. Sin embargo, aunque es importante recurrir a prácticas y productos que proporcionen una mejor eficiencia energética y utilizar fuentes de energía más benignas, a largo plazo es preciso efectuar cambios más profundos en todos los aspectos de la vida humana, desde los tipos de vivienda y la disposición de estas, hasta el desarrollo de un mejor transporte público, de nuevos sistemas de producción que requieran menos energía, o la reducción de la compra de artilugios que no son esenciales. Independientemente de los cambios que sean necesarios, está claro que los agrocombustibles deberían tener un papel menor, si es que deberían tener algún papel, como solución al descenso del petróleo disponible y su encarecimiento.

Notas

1. Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos [*U.S. Environmental Protection Agency*], «Regulation of Fuels and Fuel Additives», *Federal Register* 72, nº 83, 1 de mayo de 2007, <http://www.epa.gov/EPA-AIR/2007/May/Day-01/a7140b.htm>.
2. David Pimentel y T. W. Patzek, «Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower», *Natural Resources Research* 14, nº 1, 2005, pp. 65-76.
3. Jason Hill *et al.*, «Environmental, Economic, and Energetic Costs and Benefits of Biodiesel and Ethanol Biofuels», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, 2006, pp. 11.206-11.210.
4. Doug Koplow, «Biofuels—At What Cost? Government support for ethanol and biodiesel in the United States: 2007 Update», Instituto Internacional para un Desarrollo Sostenible, 2007.
5. Asociación para los Combustibles Renovables [*Renewable Fuel Association*], «U.S. Fuel Ethanol Industry Biorefineries and Production Capacity», <http://www.ethanolrfa.org/industry/locations/> (visitado el 9 de mayo de 2008).
6. James Bovard, «Archer Daniels Midland: A Case Study in Corporate Welfare», *Cato Policy Analysis* no. 241, 1995.
7. Véase Fred Magdoff, «The World Food Crisis», *Monthly Review* 60, nº 1, mayo de 2008, pp. 1-15 (trad. española, «La crisis alimentaria mundial», *Monthly Review. Selecciones en castellano*, nº 10, Editorial Hacer, 2009).

8. Lester Brown, *Plan B 3.0*, Norton & Co., Nueva York, 2008.
9. Comité sobre las Implicaciones para el Agua de la Producción de Biocombustibles en los Estados Unidos, *Water Implications of Biofuels Production in the United States*, National Research Council, 2008, <http://www.nap.edu/catalog/12039.html>.
10. S. D. Donner y C. J. Kucharik, «Corn-Based Ethanol Production Compromises Goal of Reducing Nitrogen Export by the Mississippi River», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, 2008, pp. 4.513-4.518.
11. Instituto de Investigación en Economía Política [*Political Economy Research Institute*], «Toxic 100 Index», Universidad de Massachusetts, <http://www.peri.unmass.edu/Toxic-100-Index.430.0.html>.
12. Permiso de Construcción n° CPM02-0006 para la modificación específica de una instalación de procesamiento de maíz y producción de etanol en Columbus, Nebraska, http://www.epa.gov/region07/programs/artd/air/nsr/archives/2006/finalpermits/adm_columbus_final_psd_permit.pdf.
13. Carl Hodge, «Ethanol Use in US Gasoline Should Be Banned, Not Expanded», *Oil & Gas Journal*, 9 de septiembre de 2002, pp. 20-30; Cal Hodge, «More Evidence Mounts for Banning, Not Expanding, Use of Ethanol in Gasoline», *Oil & Gas Journal*, 6 de octubre de 2003, pp. 20-25.
14. J. P. W. Scharlemann y W. F. Laurance, «How Green Are Biofuels?», *Science* 319, 2008, pp. 43-44.
15. David Pimentel y T. Patzek, «Ethanol Production», *Natural Resources Research* 16, 2007, pp. 235-242.
16. Joe Fargione *et al.*, «Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt», *Science* 319, 2008, 1.235-1.238.