

EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL DE PLANTACIONES PARA BIOCOMBUSTIBLES: PERSPECTIVAS Y RETOS PARA MÉXICO

EVOLUTION AND CURRENT SITUATION OF PLANTATIONS FOR BIOFUEL: PERSPECTIVES AND CHALLENGES FOR MÉXICO

Valdés-Rodríguez, O.A.¹; Palacios-Wassenaar, O.M.¹

¹ El Colegio de Veracruz. Carrillo Puerto 26. Xalapa, Veracruz. CP 91000.

***Autoras para correspondencia:** andrea.valdes@gmail.com; olivia.palacios@gmail.com

RESUMEN

El establecimiento de plantaciones con fines de producción de biocombustibles se popularizó por su consideración como estrategia energética sostenible y limpia respecto al uso de combustibles fósiles, sin embargo, estas plantaciones han tenido diversos efectos adversos, tales como, incremento en el precio de algunos alimentos y la deforestación de grandes extensiones de selvas primarias. En el presente documento se revisa el origen de los biocombustibles, los motivos de su uso y desuso, causas de su resurgimiento actual y perspectivas futuras en un contexto internacional y nacional, con el objetivo de analizar sus fortalezas y debilidades con fines de biocombustibles. Se resalta que las experiencias con grandes plantaciones para biocombustibles han sido desalentadoras y han causado más efectos ambientales negativos que positivos, por lo que las expectativas actuales deben orientarse hacia alternativas de segunda y tercera generación, que empleen como materia prima componentes considerados desechos o cultivos que no requieran grandes extensiones ni compitan con el sector alimenticio.

Palabras clave: Bioenergéticos, biodiesel, bioetanol, biocombustibles.

ABSTRACT

Establishing plantations with the objective of biofuel production has become popular because of their consideration as a sustainable and clean energetic strategy compared to the use of fossil fuels; however, these plantations have had various adverse effects, such as an increase in the price of some foods and the deforestation of large extensions of primary forest. In this study we revise the origin of biofuels, the causes for their use and disuse, the cause for their current resurgence and future perspectives within an international and national context, with the aim of analyzing their strengths and weaknesses for the objective of biofuel production. Experiences with large plantations for biofuels have been discouraging and have caused more negative environmental effects than positive, so that the current expectations must be directed towards second and third generation alternatives that use as prime materials components considered as waste or crops that do not require large extensions or compete with the food sector.

Keywords: Bioenergetics, biodiesel, bioethanol, biofuels.

INTRODUCCIÓN

El establecimiento de plantaciones para producción de biocombustibles se popularizó a partir de que fueron consideradas como una estrategia energética más sustentables que la quema de combustibles fósiles, la cual genera emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye al cambio climático (Sorda *et al.*, 2010). Sin embargo, cuando estos bioenergéticos provienen de cultivos tales como maíz (*Zea mays* L.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) o palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) se ocasiona un aumento en el precio de estos alimentos y sus derivados, desencadenando un daño social. Adicionalmente, cuando se talan extensiones de selvas o bosques para su implementación, también se generan graves impactos ambientales sobre ecosistemas únicos que difícilmente se recuperarán. Ante esta situación, el reciente Acuerdo de París celebrado el 12 de diciembre del 2015 (ONU 2015) en su artículo 2, punto b establece que se debe **“Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos”**. Por lo que es muy importante realizar un análisis profundo sobre las ventajas y desventajas de las plantaciones biocombustibles en diversos contextos, para determinar dónde y cuándo son viables, antes de emitir cualquier tipo de juicio sobre las mismas. En el presente documento se realizó una revisión considerando el origen de los biocombustibles, motivos de su uso y desuso, causas de su resurgimiento actual y perspectivas futuras en un contexto internacional y nacional, así como, estudios de caso nacionales, con el fin de analizar fortalezas y debilidades de las plantaciones con fines biocombustibles, a fin de comprender su panorama actual en el contexto del desarrollo sostenible y su mejor futuro.

La materia prima para un biocombustible

Se considera como biocombustible a todo aquel carburante sólido, líquido o gaseoso que se obtiene a partir de materia orgánica. Esta materia prima pue-

de estar conformada por un cultivo oleaginoso (rico en aceite), fibroso (fibras de plantas secas o madera) o algas; pero también puede estar integrado por residuos de cosechas (cáscaras de frutos, pulpas y cáscaras de semillas) o residuos animales (grasa, pelo y estiércol). En este documento sólo se consideraron los cultivos oleaginosos o fibrosos cuyo único uso sea la producción de aceites industriales, gases o la destilación para aplicaciones biocombustibles. La Figura 1 presenta los dos principales biocombustibles comerciales, sus materias primas de primera generación y los usos más destacados.

Historia de los biocombustibles

El uso de fibras y aceites vegetales con fines biocombustibles se remonta a más de 1.8 millones de años, cuando el *Homo erectus* usaba leña y fibras secas para encender hogueras (Adler, 2013). Sin embargo, el inicio comercial de los biocombustibles más bien se podría asociar a la siembra de oleaginosas para extraer aceite y usarlo como carburante. En este caso, se ha documentado la domesticación de higuera (*Ricinus communis* L.) y uso de su aceite como carburante en el antiguo Egipto unos 4000 años a.C.; así como, del olivo (*Olea europaea*) y ajonjolí (*Sesamum indicum*) cuyos aceites se usaban para los mismos fines en medio oriente y mediterráneo 2500 años a.C. (DiLaura 2008; Grieve 2014; Hirst 2015). Aunque es importante recalcar que los aceites de estas plantas también eran utilizados con fines medicinales, cosméticos y alimenticios, por lo que su siembra tenía múltiples propósitos y no es posible afirmar que estas plantaciones tuviesen como finalidad principal la obtención de biocombustibles.

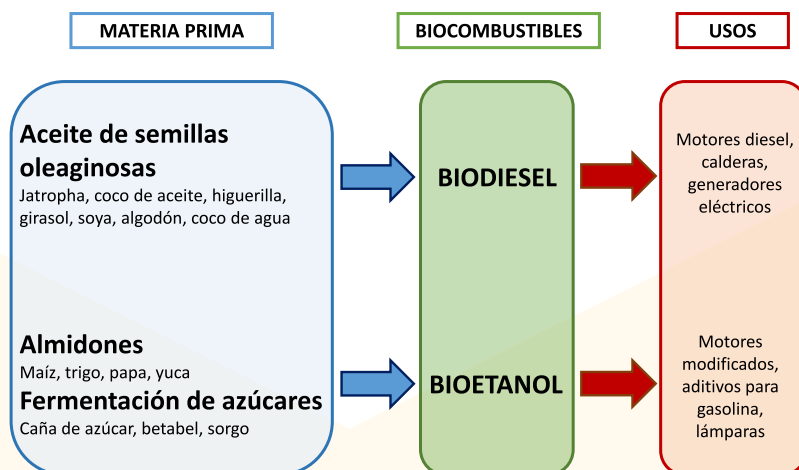


Figura 1. Principales biocombustibles de primera generación: sus principales materias primas y aplicaciones.

Cuando las energías no renovables casi desplazaron a los biocombustibles

Desde la edad antigua hasta el siglo XIX los aceites vegetales y la madera continuaron utilizándose ampliamente como combustibles; la madera principalmente para generar calor y cocción de alimentos, y los aceites para iluminación; aunque el uso de grasas animales, en especial el aceite de ballena, era más común para este fin (DiLaura 2008). Desafortunadamente no existían métodos sostenibles que moderasen la extracción de la madera ni del aceite de ballena, lo que llevó a la tala inmoderada de grandes extensiones de bosques y casi desaparición de las ballenas (Webb y Coates, 2012). Posteriormente, con el advenimiento de la era industrial a partir del siglo XIX, se encontró que el carbón mineral y el petróleo poseían mayor capacidad para satisfacer el incremento de la demanda energética ocasionado por máquinas de vapor, los sistemas públicos de alumbrado y calefacción en los cada vez más grandes y abundantes edificios (DiLaura, 2008; Webb y Coates, 2012). Esto redujo considerablemente la presión sobre las fuentes animales y vegetales, y se puede decir que a partir de allí se inició una nueva era, la del uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) como principales fuentes de energía. Aunque el carbón y el petróleo ya eran ampliamente utilizados a principios de 1900, los biocombustibles aún jugaban un papel importante por aquella época, pues todavía se consideraban viables para ser usados en los sistemas de transporte. Fue así que el primer motor diesel se probó con aceite de cacahuete (*Archis hipogea* L.) durante la feria internacional de París en 1900; y el modelo T de Henry Ford, presentado en Estados

Unidos en 1908, fue diseñado para usar etanol (Webb y Coates, 2012). Sin embargo, el empuje de la creciente industria petrolera y elección final de los fabricantes de motores de combustión interna por el diesel y gasolina derivados de petróleo, desplazó los biocombustibles como fuentes energéticas dominantes a nivel mundial (Luna, 2014).

El origen de las plantaciones biocombustibles: inicios del bioetanol y biodiesel

Durante la primera mitad del siglo XX numerosos conflictos nacionales y las dos guerras mundiales causaron escasez de combustibles fósiles, especialmente en los países que no tenían reservas petroleras, lo cual orilló a repensar la conveniencia del uso de biocombustibles. De esta manera durante la segunda guerra mundial se realizaron múltiples trabajos de investigación, tanto en Sudamérica como en las colonias europeas de África y Asia, así como, en China y Japón, sobre mezclas de gasolina con etanol, uso de otros complementos y sustitutos de la gasolina y diesel mediante diversos aceites, tales como, los de palma, algodón (*Gossypium* sp.) y soya (*Glycine max*). Un artículo de 1942 sobre el uso de aceite de palma trans-esterificado como combustible para un autobús en Bruselas, Bélgica, podría ser el primer reporte científico sobre biodiesel comercial (Knothe, 2001), sin embargo, con el regreso de la disponibilidad y normalización de los precios del petróleo estas investigaciones perdieron impulso (Abdulkareem *et al.*, 2012; Webb y Coates, 2012).

Posteriormente la crisis por el embargo petrolero de 1973, la revolución iraní de 1979 y la guerra del Golfo Pérsico en 1990, tuvieron un fuerte impacto sobre los precios del petróleo, que se elevaron debido a la escasez del producto. La reacción de algunos países como Brasil y Estados Unidos ante estas crisis condujo al establecimiento de nuevas políticas para garantizar sus propias fuentes de energía, a fin de reducir o de ser posible eliminar la dependencia hacia un producto importado (Webb y Coates, 2012). Ante estos acontecimientos y teniendo disponibilidad de excedentes en la producción de ciertas semillas, para 1983 en Sudáfrica se perfeccionó el uso del aceite trans-esterificado de girasol (*Helianthus annuus* L.) como biodiesel de alta calidad y en 1989, una compañía austriaca instaló en ese país la primera planta industrial de biodiesel a base de semillas de canola o colza (*Brassica napus* L.), con una capacidad de procesamiento de 30 mil t año⁻¹ (Sorda *et al.*, 2010; Abdulkareem *et al.*, 2012).

Algunas experiencias internacionales: el caso de Brasil

Tras la primera crisis petrolera, Brasil, un país importador de petróleo, inició en 1975 el programa gubernamental PROÁLCOOL, con el objeto de promover mediante subsidios el uso de una mezcla de gasolina con etanol anhidro obtenido de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) como combustible para los automotores. Esto fue posible gracias a los excedentes de la producción de caña de azúcar en el país, cuyo clima tropical le permite alta productividad sin inversiones en riego, lo que reduce considerablemente los costos del etanol en comparación con la gasolina. Para 1980 el gobierno de Brasil, además de continuar con su apoyo a la expansión del cultivo de la caña e industria destiladora, inició y promovió el uso de vehículos con etanol

como único combustible, los cuales fueron desarrollados mediante investigaciones financiadas con fondos públicos (Sorda *et al.*, 2010; Webb y Coates, 2012). Estas medidas incrementaron fuertemente la superficie dedicada a la producción cañera, que pasó de 1.4 millones de hectáreas en 1960 a siete millones en 2007 (Martinelli y Filoso, 2008). Entre los años 2008 a 2013, la superficie sembrada se incrementó a 8.5 millones de hectáreas, actualmente gran parte de las plantaciones de caña de azúcar en Brasil tienen como finalidad la producción comercial de etanol (Pitta *et al.*, 2014). Aunque un efecto negativo del incremento en la superficie cultivada de caña de azúcar ha sido que los cultivos de soya se han desplazado hacia regiones selváticas, lo cual ha incrementado de manera importante la deforestación y pérdida de fracciones de selva amazónica; misma que a su vez ha generado problemas de desplazamiento de diversos grupos indígenas. Por otra parte, el financiamiento y subsidio al monocultivo han estimulado la especulación financiera con las tierras y la expansión de la frontera agrícola con monocultivos que contribuye a agravar la crisis alimentaria en la población indígena y rural, que depende de cultivos de subsistencia (Martinelli y Filoso, 2008; Pitta *et al.*, 2014).

El caso de Estados Unidos

En 1974, después de la primera crisis petrolera, Estados Unidos promovió la primera legislación para el uso del etanol y otros materiales orgánicos como combustibles. Para 1978 se inició el subsidio de 40 centavos por galón a las mezclas de gasolina con al menos 10% de alcohol vegetal, llegando a 54 centavos en 1990 con subsidios adicionales a los empresarios de la industria etanolera. Para el año 2004 se crea otro incentivo de 50 centavos por galón para el uso de biodiesel. Aunque siendo Estados Unidos un país productor de petróleo, los bajos precios de éste no fueron muy favorables para el desarrollo de la industria del etanol; por lo que fueron las regulaciones ambientalistas las que mayormente contribuyeron al impulso de los biocombustibles. Entre estas regulaciones destacan las que en 1992 y 1995 ordenaron el uso de oxigenantes para gasolina a base de etanol, con la finalidad de controlar las emisiones de monóxido de carbono en ciudades con alta contaminación. A diferencia de Brasil y por sus características climáticas, las materias primas para la producción de biocombustibles en Estados Unidos fueron maíz y soya, para el bioetanol y biodiesel respectivamente. Se estima que actualmente entre 30% y 40% de la producción de maíz es utilizada con este fin (Sorda *et al.*, 2010; BirdLife-EEB, 2015), situa-

ción que ha causado polémica, debido a que el precio de este recurso alimentario ha aumentado como consecuencia de estas aplicaciones, generando importantes impactos en los costos de la producción de alimentos a nivel mundial (Webb y Coates, 2012).

El caso de la India

En este país importador de petróleo y con altas tasas de crecimiento se presentó un aumento considerable en la demanda de combustibles, principalmente para la transportación, lo que llevó al gobierno en 2002 a tratar de satisfacerla con una mezcla de etanol de caña y gasolina al 5%. Sin embargo, desde sus inicios la industria química se opuso, ante el temor de un incremento en esta materia prima, dado que la producción nacional de caña no fue capaz de satisfacer el incremento de la demanda alimenticia y energética. A partir de estas experiencias y debido a que la demanda nacional de biodiesel era mayor que la de gasolina, se consideró la obtención de este combustible a partir de semillas no comestibles, como la *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.), y para estos fines el gobierno indio fijó una meta de siembra de *Jatropha* de hasta 13.4 millones de hectáreas para el año 2012 (Gmünder *et al.*, 2012). Sin embargo, al 2014 ya se había determinado que la baja productividad e inesperados requerimientos agronómicos de este cultivo generaban altos costos de producción; por lo que muchos productores decepcionados abandonaron su cultivo y han enfocado la investigación a otras especies nativas como el neem (*Azadirachta indica*), mahua (*Madhuca longifolia*) o las pongamias; no obstante aún no se ha logrado determinar si estos cultivos son mejores (Aradhey, 2015). En la actualidad, y a pesar de la baja en los precios del petróleo, debido a las grandes y crecientes demandas energéticas de este país, la India estableció un plan para reemplazar hasta 20% de sus combustibles mediante bioenergéticos (bioetanol y biodiesel) para el 2017. El cultivo más destacado al momento es la caña de azúcar, y mediante la importación y un sistema de reducción de impuestos que permiten a los ingenios la venta de etanol para mezclar con gasolina esperan lograr disponer de 850 millones de litros para mezclar con gasolinas a una tasa del 2.8% (Aradhey, 2015).

La Unión Europea

La introducción de los biocombustibles comerciales en la Unión Europea se inició en 1992, con Francia al liderazgo. Las razones oficiales se relacionaron con la adopción de fuentes energéticas renovables, aunque también fueron los excedentes de producción agrícola

que requerían nuevos mercados los que impulsaron estas directivas. Desde el año 2000, Alemania ha dominado el consumo con 80% de biocombustibles que requiere la Unión (Sorda *et al.*, 2010). Por sus características climáticas la producción local utiliza principalmente el biodiesel fabricado a base de canola. Las directivas sobre biocombustibles del 2003 catalizaron los mercados, al promover unas metas de uso de 2% en 2005 y 5.75% para el año 2010, además de ofrecer subsidios a productores; lo que promovió un rápido incremento en su producción. No obstante, en la Unión Europea también se establecieron regulaciones que limitan el uso de la tierra para cultivos no alimenticios; y aunque para 2007 ya existían alrededor de cuatro millones de hectáreas de cultivos bioenergéticos y el 40% de los aceites estaban destinados a fines biocombustibles, el aumento de la demanda llevó a la Unión a pasar de ser exportadora a importadora de aceites (FE, 2015). Esta situación provocó que a partir del año 2004 algunos países asiáticos como Indonesia y Malasia vieran una oportunidad de mercado y dedicaran grandes extensiones de sus tierras a la siembra de plantaciones de palma de aceite con fines de exportación, causando graves deterioros ambientales al deforestar sus bosques, así como, problemas sociales al incrementarse los precios de las oleaginosas comestibles, puesto que 60% de los aceites para biodiesel que consume la Unión Europea proviene de la canola (USAID-IRG, 2009; FE, 2015). Por lo tanto, a pesar de que las políticas oficiales que impulsaron el uso de los biocombustibles se relacionaron con la protección ambiental mediante una reducción de la emisión de los gases de efecto invernadero y uso de energías renovables, el resultado de la demanda europea resultó catastrófico para muchos ecosistemas en los países productores de materia prima para los biocombustibles. Debido a esto y a las crecientes presiones económicas y ambientalistas, en el año 2015 se establecieron nuevas normas con mayores restricciones para la adquisición de biocombustibles locales o importados (Comission, 2015). De acuerdo con estas normas, para ser considerados como tales, los biocombustibles deben producir al menos 35% menos gases de efecto invernadero que los combustibles fósiles y deben provenir de sitios donde no se atente contra la biodiversidad, que no sean depósitos de carbono y que se hayan sembrado bajo criterios sustentables (Webb y Coates, 2012; Comission, 2015). El Cuadro 1 resume las experiencias con biocombustibles de primera generación reportadas en algunos países.

México ante los biocombustibles

Al ser un país productor y exportador de petróleo, durante décadas México no pareció prestar mucha atención al desarrollo de otras fuentes energéticas. El interés público se dio a conocer a partir de un informe coordinado por la Secretaría de Energía (SENER) y el Banco Interamericano de Desarrollo en el año 2006, en el cual se proponía el desarrollo de energías alternativas como el bioetanol a partir de caña de azúcar, sorgo dulce (*Sorghum spp.*) o yuca (*Manihot esculenta* Crantz), así como el biodiesel a partir de canola, soya y *Jatropha* (Macera *et al.*, 2006). La iniciativa proponía criterios similares a los ya implementados en Estados Unidos y la Unión Europea sobre el uso de biocombustibles como aditivos para gasolinas y diesel que permitieran reducir las emisiones de carbono a la atmósfera. En esta misma dirección, el Congreso de la República aprobó en el año 2008 la "Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos" y la "Ley para el Aprovechamiento Sustenta-

ble de la Energía". Aunque son bastante simples si se comparan con otras legislaciones internacionales sobre biocombustibles, es importante destacar que estas regulaciones contemplan restricciones al desarrollo de los bioenergéticos si se compromete la seguridad alimentaria. Sin experiencia ni infraestructura nacional desarrollada para este fin, es posible que el verdadero interés en impulsar los biocombustibles en el país haya sido más bien un intento por rescatar el campo mexicano en crisis desde 1980, al apoyar mediante incentivos estatales el establecimiento de cultivos bioenergéticos en sitios degradados (Valero *et al.*, 2011), con miras a aprovechar la creciente demanda bioenergética de la comunidad Europea y los Estados Unidos, lo que permitiría a México convertirse en un exportador importante de biocombustibles para estos mercados (Juárez, 2007); o bien, seguir el ejemplo de estos países en cuanto al impulso de un desarrollo tecnológico energético alternativo que permitiera a México salir adelante cuando las reservas petroleras ya no fuesen suficientes.

Las primeras experiencias con plantaciones para biocombustibles en México

En el año 2007 se asignaron los primeros apoyos para inversionistas y productores de biocombustibles otorgados por la SENER y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (Conafor, 2007). En este inicio, el uso del etanol no se promovió, dado que proviene de la caña de azúcar y este cultivo entra en la categoría de alimento, por lo que su utilización va en contra de la Ley de los Bioenergéticos. A cambio se otorgó promoción principalmente al cultivo de *Jatropha*



Cuadro 1. Principales experiencias reportadas por la comunidad internacional con plantaciones biocombustibles de primera generación.			
Región o país	Cultivos utilizados	Experiencias negativas	Experiencias Positivas
América			
Argentina (1)	Soja (biodiesel) y caña de azúcar (bioetanol)	<p><u>Socioeconómicas</u> 85% de la producción del biodiesel está en manos de grandes empresas, por lo que hay baja participación de pequeños y medianos productores. La Orden Ministerial Española de 2012 frena la entrada de biodiesel argentino a Europa.</p> <p><u>Ambientales</u> Se fomenta la agricultura de grandes extensiones de monocultivos intensivos y transgénicos.</p>	<p><u>Socioeconómicas</u> La exportación de biodiesel de soja genera fuertes divisas al país. Se ha desarrollado una buena cadena productiva para bioetanol y biodiesel vinculada con empresas petroleras para la mezcla con derivados del petróleo, con control por parte del Estado para garantizar precios.</p> <p><u>Ambientales</u> Con fines ambientales la legislación establece que naftas y diesel contengan al menos 5% de biocombustibles (bioetanol o biodiesel).</p>
Brasil (2, 3)	Caña de azúcar (bioetanol) Jatropha y Ricino (biodiesel)	<p><u>Socioeconómicas</u> En caña de azúcar los grandes extensionistas abusaron de la mano de obra indígena, femenina e infantil. En el cultivo de higuera hay inestabilidad de precios y falta de inversión privada.</p> <p><u>Ambientales</u> La producción a gran escala de la caña genera impactos adversos por uso de agroquímicos y quema. Deforestación de grandes áreas boscosas.</p>	<p><u>Socioeconómicas</u> Políticas de apoyo a los biocombustibles que promovieron también la inclusión y desarrollo regional. Mayor diversificación productiva e incremento de las exportaciones agrícolas.</p> <p><u>Ambientales</u> Se ha generado una mayor conciencia de los servicios ambientales de las selvas y se han creado nuevas leyes para protegerlas.</p>
Estados Unidos (4, 5)	Maíz, sorgo, soya	<p><u>Socioeconómicas</u> Incremento de precios en productos alimenticios a base de maíz y soya.</p> <p><u>Ambientales</u> Mayor consumo hídrico para riego. Pérdida de biodiversidad. Aumento de cultivos transgénicos.</p>	<p><u>Socioeconómicas</u> Mayores ingresos para los productores de los cultivos. Generación de empleos por nuevas industrias.</p> <p><u>Ambientales</u> Menor emisión de contaminantes en las ciudades.</p>
Unión Europea			
Francia y Alemania (4, 5, 6)	Betabel, granos diversos, Canola	<p><u>Socioeconómicas</u> Encarecimiento de los granos comestibles destinados a biodiesel. Encarecimiento de las tierras</p> <p><u>Ambientales</u> Pérdida de tierras y de biodiversidad por el cultivo de biocombustibles.</p>	<p><u>Socioeconómicas</u> Se estimuló la producción agrícola, se lograron mayores ingresos para los productores.</p> <p><u>Ambientales</u> Surgieron nuevas regulaciones para proteger los ecosistemas dentro y fuera de la Unión.</p>
Asia			
India (5, 7)	Caña de azúcar, Jatropha	<p><u>Socioeconómicas</u> Fuertes pérdidas para los campesinos que invirtieron en nuevos cultivos biocombustibles</p> <p><u>Ambientales</u> Pérdida de selvas y biodiversidad para sembrar biocombustibles.</p>	<p><u>Socioeconómicas</u> Se fomentó una menor dependencia económica de hidrocarburos Se estimuló el desarrollo rural sustentable</p> <p><u>Ambientales</u> Se creó un programa para monitorear la salud de los ecosistemas afectados.</p>
Indonesia y Malasia (8, 9)	Palma de aceite	<p><u>Socioeconómicas</u> Comunidades pequeñas han perdido sus tierras ante grandes agro-empresarios</p> <p><u>Ambientales</u> Pérdida de selvas, biodiversidad y especies únicas por siembra de biocombustibles.</p>	<p><u>Socioeconómicas</u> Subsidios estatales a los productores estimularon la agroindustria.</p> <p><u>Ambientales</u> Bajo criterios sustentables en algunos casos podría haber reducción de emisiones de carbono al ambiente.</p>

Fuentes: (1) (Viana Leite, 2013), (2) (Viana Leite, 2013), (3) (Ferrari Putti et al., 2014), (4) (Sorda et al., 2010), (5) (Webb y Coates, 2012), (6) (Comisión, 2015), (7) (Gmünder et al., 2012), (8) (Mukherjee y Sovacool, 2014), (9) (USAID-IRG, 2009).

(Veracruzanos, 2010), que no era conocida por sus usos alimenticios. Desafortunadamente no se previeron otros aspectos igualmente importantes, como la falta de experiencia agronómica en el cultivo de esta especie, la baja productividad de los materiales sembrados y la ausencia de una infraestructura local para la conversión energética; por lo que los costos de producción de estos primeros biocombustibles se elevaron considerablemente, aunado al hecho de que no existían mercados nacionales para estos nuevos productos, puesto que la paraestatal Petróleos Mexicanos (PEMEX) nunca utilizó los biocombustibles como aditivos en sus productos, tal como se había planteado en un inicio, lo que generó una falta de mercado y terminó decepcionando tanto a inversionistas privados como a los gobiernos estatales que decidieron apostar por ellos (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2014). En cuestiones ambientales, aunque las siembras no fueron en gran escala, los incentivos económicos otorgados al cultivo de biocombustibles provocaron que algunas tierras asignadas a cultivos prioritarios como el maíz fueran empleadas para la siembra de *Jatropha*, y en otros casos, terrenos con vegetación primaria fueron deforestados, resultando que no se cumplieran los propósitos de sustentabilidad alimentaria y ambiental esperados (Skutsch *et al.*, 2011).

El recuento y la situación actual

Es reconocido que el incremento en la demanda de biocombustibles ha ocasionado que algunos países hayan deforestado grandes extensiones de selvas, pastizales y humedales para su cultivo (Martinelli y Filoso, 2008; Webb y Coates, 2012). Investigaciones financiadas por la Comunidad Europea indican que 37 millones de hectáreas de tierras han sido dedicadas a estos cultivos, con una pérdida de biodiversidad estimada en 85%; además de esto, a nivel mundial, 20% de la caña de azúcar y 9% de los granos cultivados se destinan a la producción de biocombustibles, lo que ha ocasionado un aumento sustancial en los precios de estos productos; tan solo Brasil y Estados Unidos utilizan 50% de su producción de caña y 40% de la de maíz respectivamente para la fabricación de etanol, mientras que la Unión Europea utiliza más de 60% de su producción de aceite vegetal para la fabricación de biodiesel (BirdLife-EEB, 2015). Ante esta situación, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el

Banco Mundial han tenido que recomendar redirigir las políticas que subsidian a los biocombustibles para evitar mayores incrementos en los precios de los alimentos. Por ello la Unión Europea ya modificó sus políticas, a fin de considerar estos aspectos durante la producción y la importación de biocombustibles y ha vetado la importación de aceite de palma de Asia, por sus efectos ambientales adversos (USAID-IRG, 2009; FE, 2015).

Perspectivas futuras: segunda y tercera generación de biocombustibles

De lo expuesto en los puntos anteriores se puede afirmar que las experiencias con grandes plantaciones de biocombustibles han sido desalentadoras y han causado más efectos ambientales negativos que positivos, por lo que los principales demandantes de biocombustibles, como Estados Unidos y la Comunidad Europea, han puesto sus expectativas en los llamados biocombustibles de segunda y tercera generación (Figura 2), los cuales emplean como materia prima componentes orgánicos diversos, que se caracterizan por no competir con el sector alimenticio y la mayoría constituye material actualmente considerado de desecho; por lo cual esta opción abre nuevas perspectivas y posibilidades para el desarrollo de tecnologías basadas en biocombustibles con múltiples beneficios ambientales.

La perspectiva mexicana

Aunque los resultados de las primeras experiencias con los biocombustibles no fueron las esperadas para el campo mexicano, los centros de investigación sí se han beneficiado de los apoyos otorgados por el gobierno,

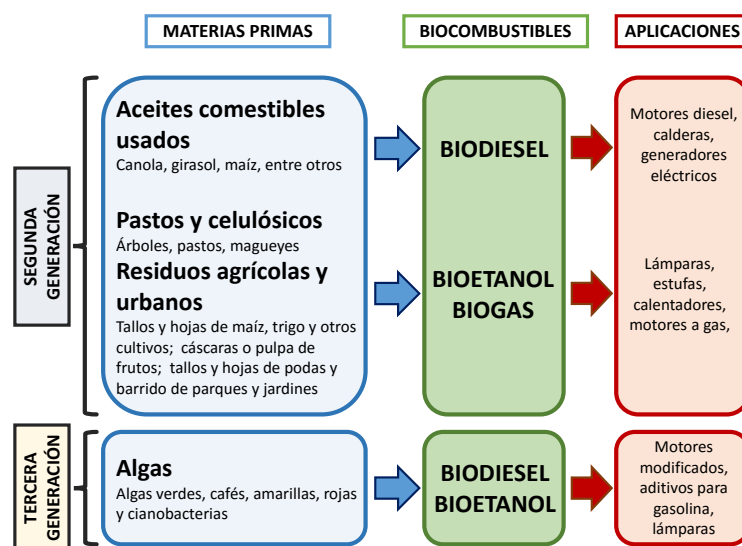


Figura 2. Biocombustibles de segunda y tercera generación y sus aplicaciones. Adaptado de (USAID-IRG, 2009; Naik *et al.*, 2010).

ya que a partir de esta época se iniciaron muchas investigaciones en diferentes vertientes de los biocombustibles. En el caso de la caña de azúcar, la reducción en la demanda de azúcar a nivel industrial por las nuevas imposiciones fiscales podría abrir una brecha hacia el uso de este cultivo para la producción de etanol. Sin embargo, esta situación no resuelve los efectos adversos de su cultivo y producción industrial, tales como, la quema previa a la cosecha, uso de agroquímicos y generación de efluentes contaminantes sólidos, líquidos y gaseosos durante el proceso productivo, por lo que aun se requiere mejorar la Ley de Promoción de los Bioenergéticos, para considerar todas las externalidades que éstos provocan. El cultivo de otras especies para la producción de biodiesel, como *Jatropha curcas* y *Ricinus communis* sigue estando bajo estudio, pero esto debe hacerse con una visión de uso ampliada, más orientada a satisfacer necesidades locales de diversificación productiva que contribuyan a incrementar los ingresos económicos, considerando también las opciones alimenticias, medicinales y culturales que estas plantas tienen, en especial para la *Jatropha*, ya que actualmente se evalúan biotipos no tóxicos o con bajos contenidos de ésteres de forbol, que se utilizan de manera tradicional en la zona del Totonacapan (Veracruz y Puebla) y que podrían ser fuente de alimento (Valdés Rodríguez et al., 2013).

CONCLUSIONES

De acuerdo con la evolución en el uso de biocombustibles y sus consecuencias a nivel mundial, y especialmente en el caso mexicano, es evidente que urge una reconsideración en las políticas y acciones aplicadas por quienes dirigen los planes de desarrollo económico del país. El análisis de los aspectos benéficos y adversos del uso de cultivos con fines biocombustibles tiende a estar inclinado hacia estos últimos, principalmente por la competencia con el uso de tierras para la producción de alimentos, que han genera-

do incremento en los precios de los básicos para el consumo humano, tales como, maíz y azúcar. Los efectos ambientales negativos ocasionados durante el proceso de cultivo y producción superan los beneficios de la reducción de emisiones contaminantes. La opción económica, social y ambiental más apropiada, sería la utilización de materiales de desecho o el cultivo intensivo de algas (biocombustibles de segunda y tercera generación), ya que éstos resuelven un problema ambiental, además de generar un producto útil (USAID-IRG, 2009); también, el uso de especies oleaginosas como *Jatropha curcas* y *Ricinus communis*, sólo se recomienda en forma de cercos vivos o asociados con otras especies, donde no sean la fuente principal de los ingresos, sino que, contribuyan a incrementar las ganancias de los productores rurales, quienes además deberán de contar con tecnologías de bajo costo que permitan realizar extracción de aceites y su aprovechamiento para

Cuadro 2. Retos y potenciales de biocombustibles de primera generación para México.

Combustible	Retos	Potencialidades
Bioetanol	<p>Implementar una legislación para promover el uso del bioetanol en el país.</p> <p>Proteger los suelos con alto valor agrícola contra la siembra de biocombustibles,</p> <p>Mejorar los procesos agrícolas para evitar el exceso de agroquímicos y riego que resultan en costos ambientales mayores a los de las energías no renovables</p>	<p>La huella hídrica del bioetanol es menor que la del biodiesel, por tener una conversión energética más eficiente.</p> <p>La gran diversidad climática, altas horas de luz y prácticas culturales con policultivos brindan mayores oportunidades de diversificación productiva que podrían aprovecharse para establecer cultivos asociados con menores impactos ambientales.</p>
Especies potenciales	<p>Baja eficiencia de conversión hídrica y energética</p> <p>Sorgo dulce</p>	<p>Alta eficiencia de conversión hídrica y energética</p> <p>Betabel, papa y caña de azúcar</p>
Biodiesel	<p>Se requiere implementar una legislación para promover el uso del biodiesel en el país.</p> <p>Mejorar procesos agrícolas y de conversión de energía para reducir costos energéticos del biodiesel.</p>	<p>Las emisiones del biodiesel son menos contaminantes que las del diésel derivado de hidrocarburos.</p> <p>Cuando el aceite proviene de plantas perennes, éstas pueden funcionar también como depósitos de carbono y conservar suelos.</p>
Especies potenciales	<p>Baja eficiencia de conversión hídrica y energética</p> <p><i>Jatropha</i>, maíz</p>	<p>Alta eficiencia de conversión hídrica y energética</p> <p>Soja, canola y palma de aceite.</p>

Fuentes: (Gerberns-leenes et al., 2009; Nolte et al., 2014).

satisfacer demandas energéticas locales. Lo que finalmente sería una estrategia más acorde con el enfoque de la sustentabilidad energética verdadera.

LITERATURA CITADA

- Abdulkareem A.S., Jimoh A., Afolabi A.S., Odigire J.O., Patience D. 2012. Production and characterization of biofuel from non-edible oils: An alternative energy sources to petrol diesel. Pages ISBN 978-953-51-0829-0 in A. Azni Zain, editor. Energy Conversion.
- Adler J. 2013. Why Fire Makes Us Human. <http://www.smithsonianmag.com/science-nature/why-fire-makes-us-human-72989884/?page=1>.
- Aradhey A. 2015. India Biofuels Annual Aug 2013. New Delhi.
- BirdLife EEB, F. y T. 2015. Drivers & Impacts of Europe ' S Biofuel Policy. Bruselas.
- Comission E. 2015. Sustainability criteria. <http://ec.europa.eu/energy/node/73>.
- Conafor. 2007. REGLAS de Operación del Programa Pro Árbol 2008.
- DiLaura D. 2008. A Brief History of Lighting | Optics & Photonics News. http://www.osa-opn.org/home/articles/volume_19/issue_9/features/a_brief_history_of_lighting/#.VfM0L9J_Oko.
- FE (Friends of the Earth). 2015. Europe slams the brakes on biofuels. http://www.foeeurope.org/sites/default/files/agrofuels/2015/briefing_-_the_end_game_on_biofuels.pdf.
- Ferrari Putti, F., N. Macini, and R. Ludwig. 2014. Análisis de la cadena de ricino para la producción de biodiesel. Rev. Cienc. Tecnol.:53-57.
- Gerberns-leenes, W., Y. A. Hoekstra, and T. H. Van der Meer. 2009. The water footprint of bioenergy. PNAS 106:10219-102233.
- Gmünder S., Singh R., Pfister S., Adheloia A., Zah R. 2012. Environmental impacts of *Jatropha curcas* biodiesel in India. Journal of Biomedicine and Biotechnology 2012.
- Grieve M. 2014. A Modern Herbal | Castor Oil Plant. <http://www.botanical.com/botanical/mgmh/c/casoil32.html>.
- Hirst K. 2015. Olive Oil. <http://archaeology.about.com/od/oterms/qt/Olive-History.htm>.
- Juárez S.L. 2007. ¿Cómo llega México a la era de los agrocombustibles? Revista Trabajadores 62:2-9.
- Knothe G. 2001. Historical perspectives on vegetable oil based diesel fuels. Industrial oOls 12:1103-1107.
- Luna R.R. 2014. Una Breve Historia del Petroleo y la sociedad que Decidió explotarlo. <http://masciencia.org/blog/una-breve-historia-del-petroleo-y-la-sociedad-que-decidio-explotarlo>.
- Macera C.O., Rodríguez M.N., Lazcano M.I., Horta N.L., Macedo I. C., Trindade S.C., Thrän D., Probst O., Weber M., Müller-Langer F. 2006. Potenciales y viabilidad del uso del bioetanol y biodiesel para el transporte en México. México.
- Martinelli L.A., Filoso S. 2008. Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: Environmental and social challenges. Ecological Applications 18:885-898.
- Mukherjee I., Sovacool B.K. 2014. Palm oil-based biofuels and sustainability in southeast Asia: A review of Indonesia, Malaysia, and Thailand. Renewable and Sustainable Energy Reviews 37:1-12.
- Naik S.N., Goud V.V., Rout P.K., Dalai A.K. 2010. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14:578-597.
- Nolte K., Ostermeier M., Schultze K. 2014. Food or Fuel – The Role of Agrofuels in the Rush for Land. German Institute of Global and Area Studies:1-7.
- ONU. 2015. Convención Marco sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas, París.
- Pitta F.T., Vinicius C.X., Navarro C., Mendonça M.L. 2014. Empresas Transnacionais e Produção de Agrocombustíveis no Brasil. First edition. Outras Expressões, Sao Paulo.
- Skutsch M., de los Rios E., Solis S., Riegelhaupt E., Hinojosa D., Gerfer S., Gao Y., Masera O. 2011. *Jatropha* in Mexico: Environmental and Social Impacts of an Incipient Biofuel Program. Ecology ad Society 16:11.
- Sorda G., Banse M., Kemfert C. 2010. An overview of biofuel policies across the world. Energy Policy 38:6977-6988.
- USAID-IRG. 2009. Biofuels in asia: An analysis of sustainability options. Bangkok.
- Valdés Rodríguez O. A., Sánchez O.S., Pérez Vázquez A., Caplan J. 2013. The Mexican non-toxic *Jatropha*, food resource or biofuel? Ethnobotany Research & Applications 11:001-007.
- Valdés-Rodríguez O.A., Pérez Vázquez A., Muñoz Gamboa C. 2014. Drivers and consequences of the first *Jatropha curcas* plantations in Mexico. Sustainability (Switzerland) 6:3732-3746.
- Valero P.J., Cortina V.S., Vela V.S. 2011. El proyecto de biocombustibles en Chiapas: experiencias de los productores de piñón (*Jatropha curcas*) en el marco de la crisis rural. Estudios Sociales 19:120-144.
- Veracruzanos. 2010. March. Biodiesel a partir de *Jatropha curcas* en México. Nextfuel. Veracruz, México.
- Viana Leite M.A. 2013. Estado del arte y novedades de la bioenergía en Brasil. Pages 25-104 La Bioenergía en América Latina y el Caribe. OFICINA RE. FAO, (Food and Agriculture Organization), Santiago.
- Webb A., Coates D. 2012. Biofuels and biodiversity 65. (S. of the C. on B. Diversity, Ed.) Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Technical Series. Montreal.

