

INFORME FINAL

Viabilidad socio-ecológica del uso de biocombustibles: una revisión desde el sector transporte terrestre del país.

*Gian Carlo Delgado Ramos, coordinador.
Lilia Rebeca de Diego Correa, Leslie Cristina Campos Chávez
y Emiliano Castillo Jara; becarios.*

JULIO DE 2012

Índice

1. Introducción
2. Biomasa y su potencial energético.
3. Biocombustibles, estado de situación actual.
4. El impulso a los biocombustibles en México
 - 4.1 El caso de la caña
 - 4.1.1 Proyectos comerciales de caña identificados
 - 4.1.2 Breve acercamiento al proceso de producción de etanol de caña
 - 4.1.3 Implicaciones ambientales del etanol base caña.
 - 4.2 El caso de la palma Aceitera en México
 - 4.2.1 Proyectos comerciales de palma identificados
 - 4.2.2 Breve acercamiento al proceso de producción de biodiesel base palma
 - 4.3.3 Implicaciones ambientales del biodiesel de aceite de palma
5. Implicaciones del uso de biocombustibles en el sector transporte en México.
6. Conclusiones
- Referencias bibliográficas
- Anexo 1
- Anexo 2

Viabilidad socio-ecológica del uso de biocombustibles: una revisión desde el sector transporte terrestre del país.¹

*Gian Carlo Delgado Ramos², coordinador.
Lilia Rebeca de Diego Correa, Leslie Cristina Campos Chávez
y Emiliano Castillo Jara; becarios.*

1. Introducción

De cara al ya ampliamente reconocido fenómeno de cambio climático de tipo antropogénico (IPCC, 2007) y en un contexto en el que las reservas de combustibles fósiles, especialmente las de petróleo, comienzan a presentar un *peak* (Deffeyes, 2001 y 2005; Heinberg, 2003; www.asep.org), la seguridad energética se coloca, hoy y ciertamente en el futuro próximo, como un asunto de primordial importancia. Y es que la principal causa del aumento en las emisiones de GEI es el uso indiscriminado de combustibles fósiles, aunque otras fuentes emisoras son también relevantes.³ La quema de combustibles por parte del sector transporte representa, según datos de 2005, el 23% de las emisiones globales de CO₂ asociadas al uso de energía⁴, mientras que las emisiones atribuidas a los edificios anotan 33% y las del sector industrial 36% (AIE, 2009; Allwood et al, 2010).

Así pues, considerando que desde 1751 se han emitido unas 337 mil millones de toneladas de carbono, sólo como producto de la quema de combustibles fósiles, es claro que el desarrollo de energías renovables juega un rol central en tanto promotor de soluciones tecnológicas de mitigación del cambio climático, esto es de reducción de las emisiones de

¹ El presente texto ha sido preparado por el coordinador del proyecto.

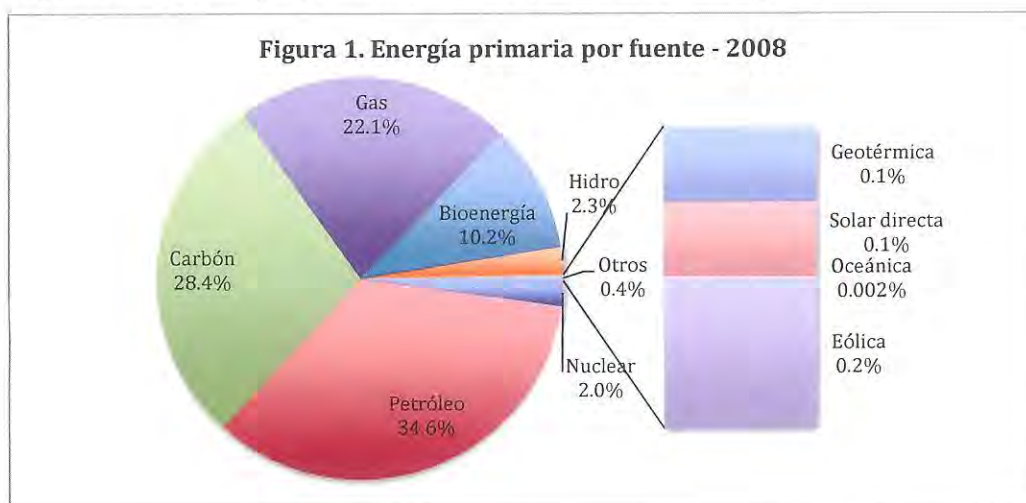
² Economista egresado de la UNAM. Maestro y doctor por la Universidad Autónoma de Barcelona (España). Investigador de tiempo completo, titular, definitivo, del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM. Integrante del Sistema Nacional de Investigadores. Es coordinador del proyecto CEIICH-PINCC sobre "Indicadores de sistemas de transporte y de la viabilidad socio-ecológica del uso de biocombustibles".

³ Las emisiones antropogénicas atribuibles a la agricultura -metano y nitrógeno- se ubican entre el 10% y el 12% del total global (IPCC, 2007: 499); las resultantes del cambio de uso de suelo -sobre todo porque deja de ser captado una buena cantidad de dióxido de carbono- suman poco más del 18% de ese total, mientras que las contribuciones producto de la generación de residuos (metano) llega a ser de 3.6% a escala global.

⁴ Tres cuartas partes de éstas corresponden al transporte vial, mientras que el resto corresponde al transporte marítimo y aéreo (AIE, 2009).

tipo antropogénico. Tales acciones deberán acompañarse de otras de diversa naturaleza; desde el aumento de la eficiencia en diversos procesos productivos, el replanteamiento de los asentamientos humanos, en especial los urbanos, hasta el cambio de los estilos de vida y por tanto de los patrones de consumo (UN-HABITAT, 2011; Delgado et al, 2010).

El informe sobre el potencial de las energías renovables del IPCC (2012) reconoce que éstas podrían tener un peso considerable en la canasta energética para mediados del presente siglo⁵, mucho mayor al que tenían en 2008, cuando aportaron 12.9% de los 492 exajoules de la energía primaria mundial (Ibid: 9). Véase Figura 1.



Fuente: elaboración propia con base en IPCC, 2012.

Debe precisarse que se entiende por energías renovables aquellas fuentes que derivan del calor del centro del planeta (geotérmica), del flujo de energía solar (solar directa, eólica, hidráulica, oceánica), así como del *stock* solar en forma de biomasa y que de explotarse de manera racional (en términos ambientales) puede renovarse en periodos relativamente cortos de tiempo.

Las renovables son por lo tanto distintas a las energías alternativas pues en estricto sentido, esas últimas pueden incluir todo tipo de energías, renovables o no, pero distintas a las de origen fósil; por ejemplo la nuclear que parte de un insumo no renovable: materiales radioactivos finitos tales como el uranio.

Generar energía útil para el trabajo a partir de fuentes renovables ciertamente genera impactos socioambientales pero éstos son sin duda mucho menores en comparación con los

⁵ Los potenciales técnicos varían según el tipo de energía y escenarios contemplados (véase: Ibid).

producidos por las energías fósiles (Delgado, 2009) e incluso por los de la nucleoelectricidad pues aunque supone una emisión menor de gases de efecto invernadero (GEI) por kilowatt producido -se estiman optimistamente unos 66gr de CO₂ por kw/h para la energía nuclear (Sovacool, 2008)-, ese tipo de energía ha estado plagada de accidentes de diversa escala a lo largo de su historia (con efectos ambientales y a la salud diversos), además de que no ha logrado resolver la gestión de los residuos radioactivos en el mediano-largo plazo (léase: Caldicott, 1978; Fairlie y Summer, 2006; Yablokov *et al*, 2009; Thébaud-Mony, 2001; Campos, 2011). Ello entre otros aspectos controversiales.

Cálculos ofrecidos por el mencionado informe del IPCC (2012) sugieren que los valores medios de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) asociados a las energías renovables se ubican en el rango de los 4 a los 46gr CO₂eq/kWh, mientras que para los combustibles fósiles se precisan de 469 a 1001 gr CO₂eq/kWh (Ibid: 982). Debe advertirse que esta valoración, pese a que es útil, no deja de ser parcial pues sólo toma en cuenta la contribución del tipo de energía en relación a las emisiones de GEI, dejando así de lado toda consideración de carácter ambiental, social y cultural. Se trata de cuestiones que evidentemente no pueden obviarse en un proceso de toma de decisiones integral de ahí que sean necesarias las valoraciones interdisciplinarias, es decir, de tipo multi-criterial y multi-dimensional.

Lo dicho requiere, como elemento de partida, la validación termodinámica de las alternativas planteadas, es decir, la evaluación de las reales capacidades y potencialidades intrínsecas de cada una de cara a los límites ambientales y las leyes de la termodinámica (véase más adelante). Pero nótese, ello no tiene sentido si no se da cuenta al mismo tiempo del tipo de sociedad y por tanto de los modos de producción y de transformación de la naturaleza que demandan tales o cuales dimensiones de energía. Tal aproximación permite dilucidar la viabilidad de tales o cuales paradigmas energéticos o, en su caso, los cambios que se requerirían en la sociedad misma en condiciones de mayor o menor energía disponible. Tales cambios incluyen, tanto en el tipo de comportamiento de los sujetos y de la sociedad como tal, hasta en las formas y mecanismos de producción, distribución y uso de la energía.

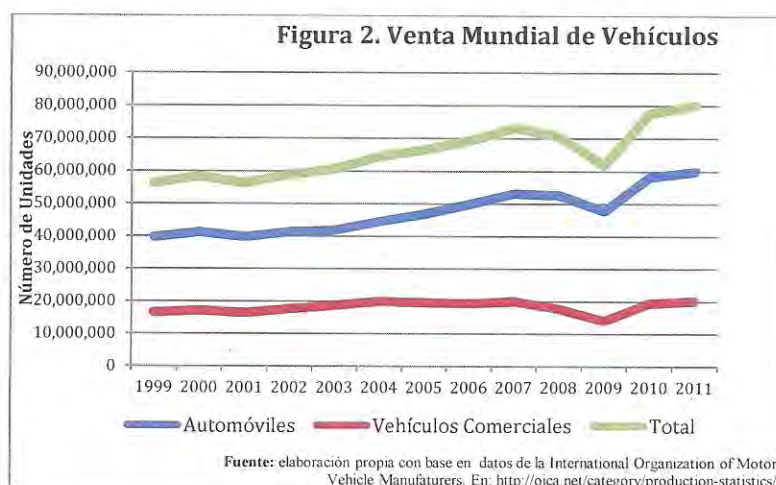
Es en dicho sentido que en el futuro próximo, por ejemplo, se consideran esencialmente dos modalidades de producción de energía renovable, mismas que se esperan impulsar de

manera simultánea: la centralizada de gran escala (grandes plantas geotérmicas, eólicas o solares, por ejemplo) y la descentralizada de pequeña-mediana escala (eólica, fotovoltaica o solar térmica, todas a nivel de casas y barrios). Tal generación mixta de energía requerirá, para el caso de la electricidad, replantear las redes y sistemas de transmisión y almacenamiento para evitar la pérdida de energía y para posibilitar subir y bajar energía eléctrica de la red en tiempo real y de manera eficiente, de ahí que se plantee la necesidad tecnológica de desarrollar las denominadas “redes inteligentes” o *smart grids* (léase, por ejemplo: Ekanayake et al, 2012). Pero aún más, el máximo aprovechamiento de tales sistemas de cogeneración requerirá ciertamente rediseñar los asentamientos humanos en el sentido no sólo de su forma y materiales empleados, sino también de la buena planificación del uso de suelo; ello sobre todo es de gran importancia para los espacios urbanos en tanto que son los mayores consumidores de energía y emisores de contaminantes (consumen 2/3 partes de la energía mundial y emiten 4/5 partes de los GEI; Newman *et al*, 2009: 4; UN-HABITAT, 2011: 9).⁶

Para el caso de los combustibles líquidos se sugieren tanto tecnologías para aumentar la eficiencia de su uso, como el desarrollo de nuevos, tales como los biocombustibles. La apuesta se basa en el uso de *bioetanol* y *biodiesel*, particularmente para el sector transporte, responsable en 2009 del uso de 96 exajoules en combustibles fósiles y, como se ha dicho, uno de los sectores de peso en la contribución global de emisiones de GEI.

En tal tenor, no es menor que el sector esté en constante expansión. Y es que sólo de 1999 a 2011 se vendieron más de 854 millones de unidades nuevas, mismas que no sólo reemplazaron sino que aumentaron el parque vehicular total (véase Figura 2). Así entonces, al día de hoy se estima que hay 1,200 millones de unidades, pero de seguir la actual tendencia, para el 2050 habría más de 2,600 millones de unidades (UN-HABITAT, 2011:42).

⁶ Existe un debate sobre los datos pues según Satterhwaite (2009), las ciudades emiten directamente solo el 35% de los gases de efecto invernadero. No obstante, el dato que estima un 80% no es descabellado si se asume una contabilidad de los costos ambientales resultantes de la entrada y salida de materiales y energía de las ciudades como un todo. Así, números ofrecidos por UN-HABITAT (2011) sostienen que en 2006 las ciudades consumieron el 67% de la energía y emitieron el 71% del CO₂ y entre el 40 – 70% de las emisiones totales de GEI a nivel mundial. Proyecciones de ese mismo organismo para el 2030 indican porcentajes del 73%, 76% y 43 – 70% respectivamente (Ibid: 51).



Lo antes descrito sin duda complejiza el panorama de acción para reducir las emisiones netas de GEI puesto que, aún considerando aumentos en la eficiencia energética de los vehículos, la tendencia de la generación de emisiones asociadas al sector transporte apunta a ser creciente: en un 50% más para el 2030 y en un 80% más para el 2050 en el mejor de los casos pues podría inclusive llegarse a un incremento de 130% para el 2050 (AIE, 2009: 29, 43). Pero, dado que se asume que los biocombustibles emiten menos GEI, éstos se colocan como una solución, cuando menos parcial que no solo ayudaría a la mitigación del cambio climático, sino que permitiría contribuir con la seguridad energética de las naciones. Sin embargo, esta noción ha sido ampliamente cuestionada, no sólo en cuanto a la cantidad de energía que se requiere para producir el vector energético, sea etanol o biodiesel, sino también en tanto a las emisiones que se asocian al ciclo de vida de los biocombustibles (producción, distribución y quema). Se añaden otros señalamientos como el que refiere a la delicada competencia por la tierra y el agua para la producción de alimentos versus de biocombustibles; el estímulo de cambio de uso de suelo a costa de los ecosistemas y con ello la pérdida de su capacidad de captura de carbono; entre otras implicaciones negativas de tipo económico, ambiental y sociocultural y que más adelante se precisan.

Ante tal situación se estiman de gran relevancia las contribuciones para valorar de modo integral la apuesta por los biocombustibles, valoraciones interdisciplinarias que busquen dar cuenta de los pros y contras, no meramente de las tecnologías per se (como se verá más adelante, hay diversas generaciones de biocombustibles), sino además de las tecnologías

socializadas. Y dado que México también se ha pronunciado a favor de su desarrollo, las evaluaciones específicas para el caso mexicano son más que pertinentes, sobre todo cuando se observa que el transporte uno de los sectores con mayor responsabilidad en las emisiones GEI. Según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006, en 2006, las emisiones totales del país fueron 709 millones de toneladas equivalentes en CO₂ (Mt de CO₂eq), lo que representó un incremento del 40% con respecto a 1990. De ése total, las emisiones por el consumo de combustibles fósiles se estimaron en 382.7 Mt en CO₂eq, siendo mayor en el sector energético con 39% del total de emisiones, seguido del sector transporte con el 38%, la manufactura e industrias de construcción con 15%, y el restante 8% correspondió a los sectores residencial, comercial y agrícola (INE, 2006).

2. Biomasa y su potencial energético.

La biomasa es la principal fuente de alimentos, forraje y fibra. En 2008 representó el 10% de la energía global primaria producida o unos 50 exajoules, siendo la madera la modalidad más relevante con cerca del 80% del total (IPCC, 2012: 214 y 216).

Para propósitos analíticos, el IPCC sugiere que la bioenergía o el uso de la biomasa como fuente energética, se puede clasificar en dos grupos: la biomasa tradicional de baja eficiencia y la bioenergía moderna de alta eficiencia.

Mientras que la primera se refiere al uso de madera, paja o residuos agrícolas para la cocción de alimentos, iluminación y calefacción; la segunda se refiere al uso moderno de biomasa para generar calor, producir electricidad o ambos, así como para la producción de combustibles líquidos tales como el etanol o biodiesel para su uso en el transporte. En esta segunda modalidad, la mayor conversión de biomasa se observa en la generación de calor y la producción de energía eléctrica en la industria del papel, de productos forestales, alimentos y químicos, con uno aporte de 7.7 exajoules/año (Ibid: 217).

Tabla 1.
Potenciales técnicos de diversas modalidades de bioenergía – exajoules/año

Tipo de bioenergía	2050	
	Mínimo	Máximo
Residuos agrícolas	15	70
Basura orgánica	+13 (hasta 50)	
Residuos forestales	12	74
Cultivos	Tierras cultivables: 120 (hasta 700)	
	Tierras marginales y degradadas: 70 (hasta 110)	
	Mejoras tecnológicas, incluyendo la ganadería: 140	
Fuente: IPCC, 2012: 219 – 224.		

El potencial técnico de la bioenergía para el 2050 ha sido estimado en un promedio de 500 exajoules/año (40-170 exajoules/año derivados de diversos residuos; véase Tabla 1), pero ello depende de diversas variables, incluyendo el aumento de la productividad agrícola, los patrones alimenticios futuros y el tamaño de la población, la apertura de nuevas tierras para la producción de bioenergía moderna (por ejemplo, tierras degradadas y marginales), la disponibilidad de agua, el uso de nuevos insumos (pastos como el *miscanthus*⁷, celulosa, algas, etcétera), el desarrollo de tecnologías tales como nuevas generaciones de biocombustibles; así como diversas consideraciones socio-ambientales, en especial el cambio de uso de suelo en tanto que puede ser factor de mayores emisiones GEI (por ejemplo, la conversión de bosques a monocultivos).

Debe advertirse el fuerte optimismo tecnológico que en uno u otro grado permea tales estimaciones. Y es que la competencia por tierra entre alimentos y bioenergía reduciría el potencial técnico al 2050 en 81 exajoules/año para los cultivos; en 27 exajoules/año para los residuos forestales y en 100 exajoules para los residuos agrícolas y orgánicos; pero aún más, en un escenario con un rápido aumento poblacional, un desarrollo tecnológico lento y un estancamiento en la productividad agrícola, la disponibilidad de tierra para bioenergía sería prácticamente nula (IPCC, 2012: 227). Otra cuestión que deben considerarse es la sobreexplotación de residuos agrícolas y forestales para la generación de energía en tanto que se reflejaría en un decremento de los nutrientes del suelo, lo que a su vez llevaría para el caso de la agricultura a un aumento en el uso de agroquímicos y por tanto en la emisión de GEI. No sobra precisar que el alto potencial en el rubro de cultivos responde a un escenario en el que se aumenta la productividad de muchas de las tierras cultivables de África y América Latina y en el que se presume el emplazamiento masivo de sistemas de irrigación, la selección e cultivos y el uso de fertilizantes (IPCC, 2012: 230). En el caso de los sistemas de riego, es claro que ello no siempre es técnica ni ecológicamente factible de cara a los distintos usuarios y la disponibilidad de agua en tales o cuales regiones y aún más, contar con los recursos económicos necesarios usualmente significa aumentar la concentración de tierras e industrializar la producción, proceso que históricamente ha

⁷ Se trata de una especie invasiva, aparentemente carente de pestes o enfermedades y de crecimiento rápido. La apuesta es no sólo seleccionar especies más aptas para la producción de biocombustibles sino incluso hacer nuevas variedades por medio de ingeniería genética, como las que ya explora la empresa CERES (www.ceres.net).

demostrado estar lleno de implicaciones sociales y ambientales. A todo lo anterior, entre otras cuestiones, debe sumarse el futuro impacto del propio cambio climático en la productividad de biomasa pues un aumento en la temperatura de más de 2°C podría afectarla, sobre todo en los ecosistemas de los trópicos (IPCC, 2012: 232). De modo similar, una mayor presencia de CO₂, bien puede contribuir a procesos fotosintéticos mayores, pero tal posibilidad depende de la disponibilidad de agua y nutrientes por lo que el cambio en los patrones de lluvia y otros usos del agua se tornan cuestiones clave, todo al tiempo que la eventual reducción del uso de agroquímicos quedaría en tal escenario relegada.

De cara a tal contexto, lo que sí es un hecho es la intensa apropiación de biomasa por parte del ser humano, puesto que la especie sólo representa el 0.5% de la biomasa heterótrofa del planeta pero se adjudica por lo menos un 24% de la biomasa total neta (Haberl et al, 2007; Pelletier y Tyedmers, 2010). Y si bien no se tiene aún claro cuál es el punto de inflexión o dónde trazar la frontera ecológica en relación a la apropiación de biomasa neta por parte de la humanidad, es evidente que existe y que conforme aumenta, la presión sobre otras especies es mayor. Si bien no es el único factor, la disponibilidad de biomasa contribuye con la pérdida de biodiversidad y cuya tasa se coloca en torno a 100 especies por cada millón cuando antes de la primera revolución industrial de 0.1-1 especies por millón (Rockström et al, 2009).

Sin dejar de tomar en cuenta lo previamente dicho, en México la biomasa de madera es la que abarca el mayor potencial bioenergético del país (un 54% de ése), lo que equivale en términos energéticos a 1, 969 PJ/año. El 76% de esta energía corresponde a madera de coberturas naturales (INE-UNAM, 2008: 25).

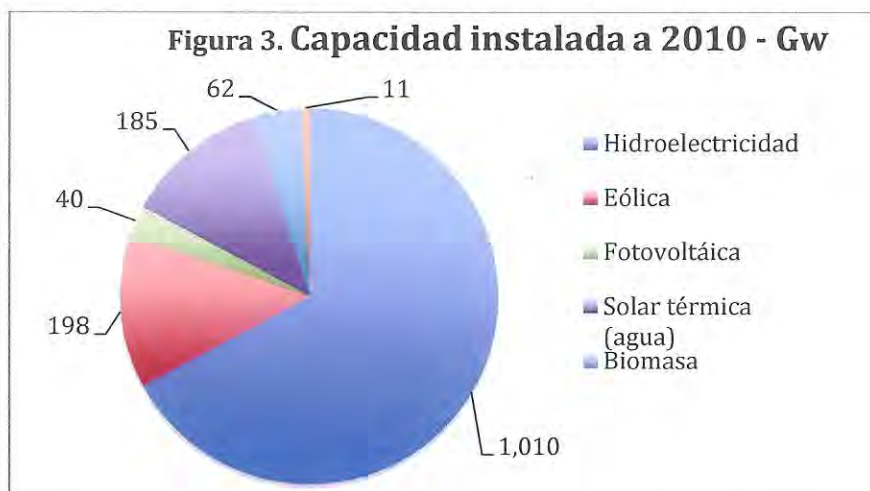
Pese a ello, se considera que en el país existe una capacidad potencial no explotada de unos 9 mil MW de energía eléctrica a partir del uso de biomasa.⁸ Por otro lado, la generación de biogás es uno de los rubros de gran potencial pese a que los mayores proyectos se limiten aún a casos como Monterrey y Aguascalientes. Según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en el país se estima una generación de 37 mil millones de toneladas de

⁸ Actualmente la principal fuente de biomasa para la generación de energía eléctrica es el bagazo de caña de azúcar para la generación de electricidad en los ingenios azucareros, mismos que produjeron en 2008 unos 373 MW (Amin y Tully, 2009). En total existen 50 proyectos de pequeña escala con una capacidad instalada de 515 MW (Ibid).

basura municipal al año, no obstante sólo unos 22 millones se disponen en rellenos sanitarios; ello implica una emisión de 110 millones de tCO₂e (54 millones por basura sólida y 46 millones por aguas residuales) (Amin y Tully, 2009). Considerando tales datos, el potencial del país para la generación de biogás se estima entre 2,635 y 3,771 PJ al año (Ibid). Por su parte, el potencial total calculado para cultivos dedicados a bioenergía, es de 790 PJ/año, aunque no se trata del potencial actual en tanto que ello depende del ciclo de vida de cada cultivo (caso específico la palma de aceite y *Jatropha*, cuya producción comienza a los 4 o 5 años después de su establecimiento; véase más adelante) (INE-UNAM, 2008: 25).

3. Biocombustibles, estado de situación actual.

La inversión en energías renovables ha ido en aumento de manera constante. Mientras el gasto mundial en 2008 era de 130 mil millones de dólares (mmdd), para 2010 se estima en 211 mmdd, siendo la eólica la de mayor peso en la canasta energética si se excluye la hidroelectricidad (Ren 21, 2011). Véase Figura 3.



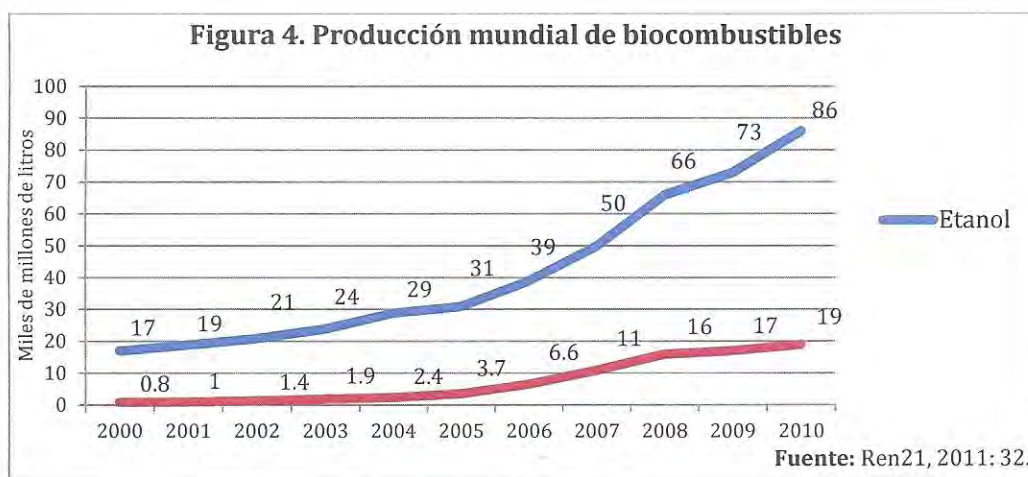
Fuente: Ren 21, 2011.

China fue líder mundial en el aumento de capacidad instalada en 2010, particularmente enfocándose en eólica y solar térmica. Alemania hizo lo propio con fotovoltaica y

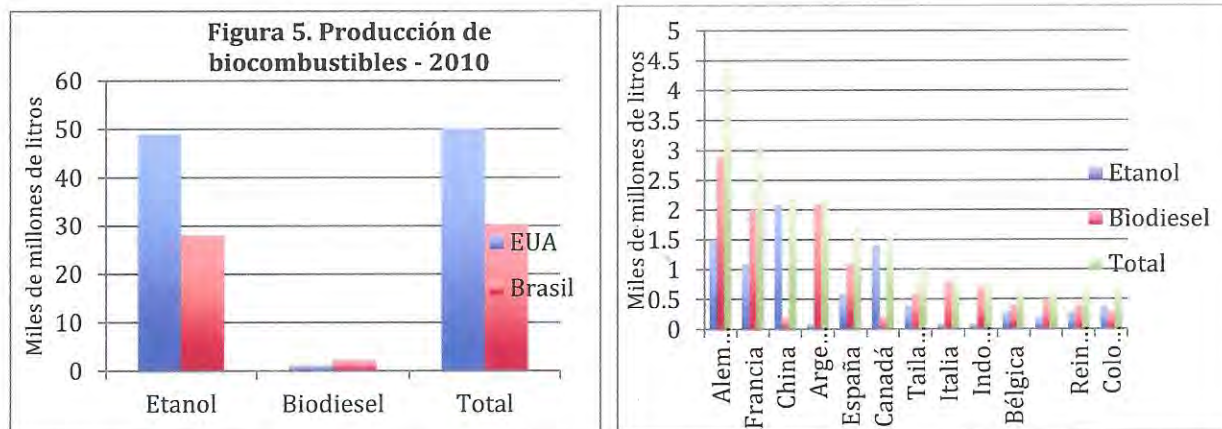
producción de biodiesel, mientras que EUA encabezó la producción de etanol. Al cierre de 2010, la capacidad instalada en energías renovables, excluyendo la hidroelectricidad estaba en manos de EUA, China, Alemania, España e India (Ibid).

En particular, los biocombustibles representaron para ese año el 2.7% del total de combustibles líquidos utilizados por el sector transporte, en su mayoría terrestre (Ren21, 2011: 31). Existen sin embargo variaciones. En EUA el peso que tuvieron los biocombustibles en 2010 fue del 4% y en la Unión Europea el 3%. Contrastantemente, en Brasil el etanol (base caña) contribuyó con el 41.5% del combustible demandado por el parque vehicular ligero de ese país (Ibid).

La producción total de etanol en 2010 fue de 86 mil millones de litros, 17% más que en 2009 y cinco veces más con respecto al año 2000. Véase figura 4. EUA fue el mayor productor mundial de biocombustibles, seguido por Brasil y la Unión Europea.



La producción de etanol fue acaparada por EUA (57%) y Brasil (31%), ahondándose cada vez más la brecha entre esos dos países e invirtiéndose claramente la relación existente hasta hace unos años cuando Brasil era el mayor productor de etanol del mundo. Véase Figura 5. Debe advertirse que pese a ello, Brasil siguió incrementando su producción (en 7% con respecto al año 2009).



Fuente: Ren 21, 2011: 75.

La producción de etanol demandó cuando menos el uso de 3% de la producción mundial de granos, generando 32.5 millones de toneladas de alimento para el ganado como co-producto (lo que no siempre es positivo pues cuando el co-producto sobrepasa la capacidad de consumo local-regional, las distancias para su uso efectivo aumentan, demandándose así más energía en su transportación, lo que cuando no es viable entonces el co-producto se vuelve desecho que habrá que arrojar al ambiente.

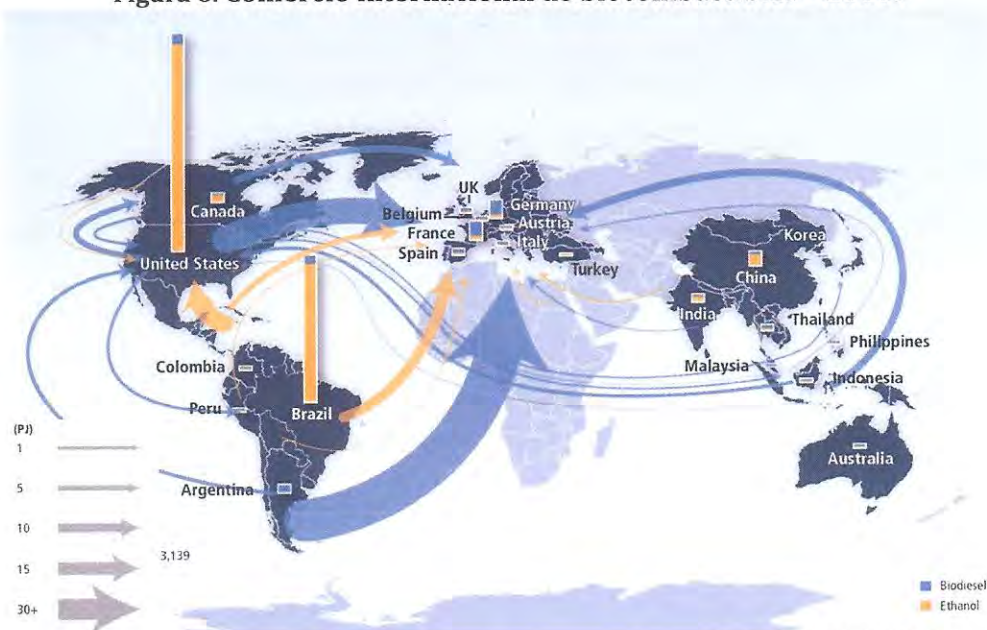
Por su lado, la producción de biodiesel aunque se ha incrementado casi 24 veces desde el año 2000, en los últimos años se ha estancado, totalizando 19 mil millones de litros para el año 2010. Véase Figura 4.

El grado de concentración en la producción, como en el caso del etanol, también es observable. Los primeros 10 productores mundiales de biodiesel se adjudicaron el 75% de la producción en 2010, siendo la Unión Europea líder con el 53% de la producción total, mientras que Asia (Indonesia y Tailandia, sobre todo) se hizo del 12% (Ren 21, 2011: 32). En particular destacan Alemania que produjo 2.9 mil millones de litros (mmdl), Brasil con 2.3 mmdl, y Argentina con 2.1 mmdl (Ibid). Véase Figura 5.

Es observable que en tal panorama asimétrico, los países pobres o periféricos sobresalgan en la producción de insumos para la producción de biocombustibles. Destaca, por ejemplo, la producción de aceites vegetales (como el de palma) para su posterior transformación a biodiesel, tal y como sucede con las exportaciones asiáticas de ese insumo y que luego es transformado en refinerías de Alemania.

Por tanto, se corrobora así que el impulso al uso de biocombustibles deriva de la implementación de diversas iniciativas y regulaciones a nivel mundial que en términos prácticos, el grueso de los casos terminan atendiendo las demandas finales de automovilistas estadounidenses y europeos (véase flujos del comercio internacional de biocombustibles en Figura 6).

Figura 6. Comercio internacional de biocombustibles – 2009.



Fuente: IPCC, 2012: 152.

La UE, por ejemplo, estableció que un 10% del combustible utilizado por su sector transporte en 2020 sería biocombustible. De modo similar lo hizo Sudáfrica, fijando su meta en 2%. EUA por su parte, ha establecido que 136 mmdl de biocombustibles serán producidos para el 2022, y China ha fijado 13 mmdl de etanol y 2.3 mmdl de biodiesel por año hasta el 2020 (Ren21, 2011: 60). Los porcentajes de mezcla de etanol-gasolina varía de país a país pues mientras en Finlandia de E6 (6%), en Etiopía es E10 (10%). Véase Tabla 2 para mayores referencias. Lo mismo sucede en el caso del biodiesel donde las mezclas van de B3 y B5 en Tailandia a B6 en España y donde se espera en 2012 se llegue a B7. Véase Tabla 3.

Tabla 2.		
Metas fijadas para consumo de etanol - 2008		
<i>País</i>	<i>Meta</i>	<i>Insumos principales</i>
AFRICA		
Etiopia	E5	Caña de Azúcar y residuos de caña
Kenia	10%	Caña de Azúcar
Malawi	15 – 22%	Caña de Azúcar
Sudáfrica	E10 con metas de producción de 155 millones de litros/año	Granos y residuos de caña
Sudán	250 millones de litros	Caña de Azúcar
Zimbawe	13 – 18% para 2017	Caña de Azúcar
AUSTRALIA, JAPÓN Y NUEVA ZELANDA		
Australia	350 millones de litros en 2010.	Granos y residuos de caña
Japón	500 mil (kilo)litros en 2010 con mezcla inicial de E3.	Granos, remolacha y caña. Tiene proyectado el uso de celulosa.
Nueva Zelanda	2.5% en 2012 con una mezcla E3	Considera futuros proyectos de celulosa e importaciones de etanol.
SUR Y ESTE DE ASIA Y EL PACÍFICO		
China	E15 para el 2020. Actual E10.	Caña, granos y celulosa. Las importaciones podrían ser de hasta 50%.
Filipinas	E10 al 2011	Caña
Tailandia	E10 al 2011	Caña y residuos de caña.
India	E5 actual y E20 para 2020.	Caña y otros.
UNIÓN EUROPEA		
UE	10% para 2020	Remolacha y granos. Importaciones crecientes.
AMERICA LATINA Y EL CARIBE		
Argentina	E5 a 2010	caña de azúcar y residuos. Se plantean proyectos con base en granos.
Brasil	E25 + E85 (vehículos flex-fuel)	Caña de Azúcar. Exportador neto.
Colombia	E10 a 2008	Remolacha, caña de azúcar y residuos.
México	No existe formalmente aunque se apunta a una mezcla de E5.	Caña fundamentalmente. Se sugiere producir a 2012 de entre 412 mil y 1.1 millón de m ³ de etanol (SENER/GTZ/BID, 2006); un 5.7% del volumen de las gasolinas suministradas a las ciudades de Guadalajara, Monterrey y la ZMVM.
República Dominicana	E15 para el 2015. Se habla de hasta un E25 en el largo plazo.	En desarrollo. Seguramente caña.
Perú	E7.8 a 2010	Caña de azúcar.
Uruguay	E5 para el 2014	Caña de azúcar. Tiene contemplados proyectos futuros de remolacha y granos.
Venezuela	E7 (planeado)	Caña de azúcar + importaciones (de Brasil). Tiene contemplados proyectos futuros de celulosa.
NORTEAMÉRICA		
EUA	136 mil millones de litros al 2022	Granos (maíz). Tiene contemplados proyectos futuros de celulosa.
Canadá	E5 – E7 al 2012 en 12 provincias.	Granos y otros. Tiene contemplados proyectos futuros de celulosa.

Tabla 3. Metas fijadas para consumo de biodiesel - 2008		
<i>País</i>	<i>Meta</i>	<i>Insumos principales</i>
AFRICA		
Kenia	B20 eventualmente	Proyectos futuros de jatropha con base en IED para su exportación a Asia.
Mozambique		
Nigeria	B20 eventualmente	Proyectos futuros de jatropha y palma
Sudáfrica	B2 – B5	Soya
AUSTRALIA, JAPÓN Y NUEVA ZELANDA		
Australia	1% a 2010	Colza y desechos.
Nueva Zelanda	4.5% en 2012.	Desechos. Se consideran futuros proyectos de colza.
ASIA Y EL PACÍFICO		
China	B10 para 2020 con una producción de 2 millones de toneladas métricas	Colza y desechos. Se consideran futuros proyectos de jatropha.
Indonesia	5% a 2025	Palma. Se proyecta jatropha.
Malasia	5% a 2008	Palma. Se proyecta jatropha.
Corea del Sur	B3 a 2012.	Importaciones.
Tailandia	B5 a 2011	Palma y desechos
Filipinas	B2 a 2011	Palma. En bajas cantidades también de aceite de coco.
India	B10	Desechos y palma. Se contempla jatropha.
Nepal	B10 (eventualmente)	Proyectos futuros de jatropha
UNIÓN EUROPEA		
UE	10% para 2020	Soya, colza, desechos y palma. Importaciones crecientes, incluso de insumos como aceite palma.
AMERICA LATINA Y EL CARIBE		
Argentina	B5 a 2010	Soya. Exportadora neta.
Bolivia	B20 a 2015	Palma.
Brasil	B5 a 2012	Soya y desechos. Considera proyectos futuros de palma y jatropha.
Chile	B5 (planeado)	-----
Colombia	B5 a 2008	Palma. Contempla jatropha.
México	2% a 5% después de 2012 (se requerirán al menos 10 plantas con capacidad de 100 mil toneladas/año).	Palma, jatropha, desechos. Se considera la eventual exportación (SENER/GTZ/BID, 2006: 4-5).
República Dominicana	B2 para el 2015	En desarrollo. Probablemente higuera (ricinus communis), jatropha y desechos.
Ecuador		Palma. Exportador neto.
Guatemala	-----	Proyecto de la USAID en marcha (jatropha).
Paraguay	B5 a 2009	Soya, colza y desechos.
Perú	B5 a 2011	Soya y palma. Se contempla jatropha.
Uruguay	B% a 2012	Soya y desechos
NORTEAMÉRICA		
EUA	3,785 millones de litros	Soya y desechos
Canadá	B2 a 2012	Colza y desechos.
Fuente: elaboración propia con base en Cushion, Whiteman y Dieterle, 2010: 30-32; SENER/GTZ/BID, 2006.		

Según Ren21, al cierre de 2010 se tenían identificadas 31 iniciativas nacionales y 29 estatales o provinciales alrededor del mundo, así como 19 lineamientos nacionales de exención fiscal (Ren 21, 2011: 61). Destaca en este sentido el caso de EUA en tanto que se destinan fuertes subsidios: 13 centavos de dólar/litro para la mezcla de etanol, 28 centavos de dólar/litro para el biodiesel, y 30% del costo para el emplazamiento de nuevas instalaciones de gran capacidad.⁹ Con tal apoyo EUA llegó a 204 plantas en funcionamiento con una capacidad total de 51 mil millones de litros. El sector es cada vez más monopolizado por grandes corporaciones a costa de la reducción de la participación de las cooperativas que en 2006 se atribuían 45% de la producción de etanol. Hoy día, ADM y POET controlan 34% de esa producción, pero se suman Valero Energy, Flint Hills, Sunoco, Murphy Oil, entre otras empresas (Jonasse en Jonasse, 2009: 5). En la fase de producción de insumos, Bunge, Cargill y Monsanto se adjudican el grueso de ganancias. El apoyo a la agroindustria por medio de la producción de biocombustibles es una cuestión altamente politizada pues se considera un prerequisite para ganar la primarias de ese país, además de que en los estados cerealeros, cuya población es baja, la agroindustria tiene un gran poder e influencia sobre los congresistas teniendo así una vía de sobre-representación política (léase: Spearling y Gordon, 2009: 97). No sorprende entonces que el apoyo del gobierno estadounidense se extienda incluso al entramado del complejo militar industrial. Es así que la Fuerza Aérea ha certificado su flota para volar con biocombustibles, al tiempo que la Marina ha ordenado que todos sus aviones y barcos utilicen una mezcla de 50-50 (biocombustible/gasolina) para el 2020 (Ren21, 2011: 61). La UE tampoco se queda atrás. Subsidia la agricultura para la producción de insumos hasta en 50 centavos de euro el GJ (aproximadamente 3 centavos de dólar el litro). Para la producción de biocombustibles se otorgan incentivos de hasta 10 euros el GJ o 60 centavos por litro producido, mientras que para la distribución se otorgan entre 17 y 10 euros por GJ o entre 60 centavos y un dólar por litro distribuido (Cushion, Whiteman y Dieterle, 2010: 37).

En resumen, se estima que los subsidios totales al etanol por litro de combustible fósil reemplazado ronda entre 1 y 1.40 dólares en EUA y 1.64 y 4.98 dólares en la Unión

⁹ Ese país aprobó las siguientes medidas relacionadas a la producción e biocombustibles: Ley de Independencia y Seguridad Energética (2007), Ley de Mejoramiento y de Extensión Energética (2008) y la Ley de Energía Limpia y de Seguridad de EUA (2009).

Europea. En el caso del biodiesel el rango va de 66 a 90 centavos de dólares en EUA y de 77 centavos y 1.53 dólares en la Unión Europea (Ibid: 38).

A las medidas señaladas se suman las acciones y cabildeo de la Global Bioenergy Partnership¹⁰, así como los paquetes de préstamos del BM (Rothkopf, 2006; Cushion, Whiteman y Dieterle, 2010) y bancos regionales similares en América Latina (BID) (Kojima y Johnson, 2005), Asia (ADB) y África (AFDB).

Luis Alberto Moreno, presidente del BID y exministro de desarrollo económico de Colombia (impulsor de la firma del TLC de ese país con EUA y de encausar diversos programas de asistencia militar y económica de EUA), asegura que "...los biocombustibles pueden atraer inversión, desarrollo y trabajo a zonas rurales con altos niveles de pobreza, reduciendo a la vez la dependencia de combustibles fósiles importados" (BID, 2007). Desde tal visión, que la realidad no ha corroborado a lo largo de diversas experiencias de "reconversión productiva" (véase más adelante el caso de la palma en Chiapas, México), el BID ha abierto una línea de crédito superior a los 3 mil mdd, el grueso canalizado a través de su Fondo de Energía Sostenible y Cambio Climático (SECCI). Sólo 2 mil mdd se gastarían en diversos proyectos para ayudar a triplicar la producción anual de etanol de Brasil en 2020, panorama en el que se triangulan fondos de capital privado de Carlyle-Riverstone, Goldman Sachs, SiMaio Capital y Captial and Global Foods.¹¹ No sobra precisar que Moreno fue de los actores, junto con Jeb Bush y el entonces ministro brasileño de agricultura Roberto Rodrigues, que fundaron la American Ethanol Commission (Delgado, 2009: 79). Véase algunos otros ejemplos de proyectos financiados por el BID en Tabla 4.

¹⁰ Integrada por el G8 + Brasil, China, India, México y Sudáfrica; la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la Agencia Internacional de Energía, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, el Consejo Mundial de Energías Renovables, la Asociación de la Industria Europea de Biomasa, entre otros organismos de Naciones Unidas y observadores.

¹¹ <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=1543505>

Tabla 4.
Proyectos del BID para impulsar la producción de biocombustibles

<i>País</i>	<i>No Proyecto</i>	<i>Nombre de Proyecto</i>	<i>Año de inicio / Estatus</i>	<i>Monto total del proyecto (dólares)*</i>
Brasil	BR-L1170	Itumbiara Bioenergy Project (planta con capacidad de 2.5 millones de toneladas de caña al año o 55 millones de galones de etanol y 338 mil toneladas de azúcar)	Julio de 2008 (completado)	348,000,000
Brasil	BR-L1107	Ituiutaba Bioenergy Project (planta con capacidad de producción de 55 millones de galones al año y desarrollo de 30 mil hectáreas de monocultivos de caña)	Julio de 2008 (completado)	387,100,000
Brasil	BR-M1110	Generación de bioenergía y créditos de carbono en base de residuos de acai	Marzo de 2012 (implementando)	2,166,100
Brasil	BR-L1113	Moema Biofuel Project	Agosto 2007 (completado)	120,000,000
Brasil/Regional	BR-T1086	Feasibility Studies for Biofuel Production in Central America and the Caribbean	Febrero de 2008 (completado)	1,637,000
Chile	CH-T1096	FOREENERGY – Biofuels of Second Generation for Chile	Octubre de 2009 (completado)	1,250,000
Colombia	CO-T1059	Expanding Innovation, Science and Technology in Bioenergy	Abril de 2008 (implementando)	680,000
Colombia	CO-T1118	Expanding Innovation, Science and Technology in Bioenergy	Abril de 2008 (implementando)	500,000
El Salvador	ES-T1096	Biofuels Action Plan Development	Julio de 2008 (completado)	937,500
El Salvador	ES-T1057	Feasibility or Producing Biodiesel	Septiembre 2006 (completado)	88,360
Guatemala	GU-T1095	Biofuels Action Plan	Julio, 2008 (completado)	510,000
Haití	HA-T1077	Bioenergy Action Plan (financiado junto con la OEA - COFAB)	Agosto, 2010 (implementando)	686,250
Haití	HA-X1017	Bioenergy Action Plan (COFAB component)	Agosto, 2010	150,000
Honduras	HO-T1101	Bioenergy Action Plan	Octubre, 2008	937,500
México	ME-T1162	Feasibility of Biomass Cogeneration Projects in the Sugar Cane Industry in Mexico	2010 – 2012 (completado)	164,000
Panamá - Regional	PN-X1005	Strengthening of the Mesoamerican Biofuels Program – Part I.	Agosto, 2010 (cancelado)	1,450,000
Perú	PE-L1082	Maple Ethanol Project (Destilería para producción de 35 millones de galones/año)	Marzo de 2010 (implementando)	245,500,000
Perú	PE-T1146	Strategic Plan of Sustainable Energy and Biofuels to Peru	Enero, 2009 (implementando)	1,250,000
Regional	RG-T1554	Exploring Alternatives in Bioenergy in Latin American and the Caribbean	Enero, 2009	1,250,000
Regional	RG-L1019	Regional Sugar and Bioenergy Program (enfocado sobre todo en la región noreste de Brasil, Centro América y México)	Enero, 2009	150,000,000
Regional	RG-T1278	Development of Biofuels Value Chains under DR-CAFTA	Septiembre, 2007 (completado)	140,000
Regional	RG-T1297	Technical Standards for Biofuels Production in Central America	Mayo, 2008 (completado)	180,000
Regional	RG-T1904	Sustainable Aviation: Biojet fuels in LAC	Mayo, 2011 (implementando)	150,000
República Dominicana	DR-T1036	Support to Renewable Energy and Bioenergy Programs	Sep, 2011 (aprobado)	937, 500
Suriname	SU-T1042	Support to Energy Sector: Renewable and Bioenergy (producción de etanol base caña de azúcar)	Enero, 2010	505,000

* Suma del financiamiento del BID y de las contrapartes nacionales

Fuente: elaboración propia con base en datos de la página del BID (www.iadb.org).

En este contexto, no es menor tampoco la participación de diversas agencias de cooperación. Por ejemplo, en México la Secretaría de Energía, con apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ), realizaron el estudio "Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México" (SENER/GTZ/BID, 2006) (véase más adelante). De manera similar, la misma agencia de cooperación, de la mano del AFDB, financió y colaboró en las discusiones para una guía del "Desarrollo de Biomasa y Bioenergía en África" en abril de 2011.¹² Hoy día mientras buena parte del aceite de palma producido en Chiapas se exporta a Europa (véase más adelante), en Sierra Leon produce caña de azúcar en 10 mil hectareas irrigadas para exportar unos 90 mil m³/año de etanol a la Unión Europea y 15Mw de energía eléctrica para el mercado interno (AFDB, sin fecha). Casos similares se han impulsado para Mali (15 mil hectareas de azúcar), Kenya, Sudan y Mozambique. Y si bien la caña es el centro de atención, el AFDB considera incluir el sorgo dulce y la casava.

El escenario en Asia es muy parecido, sobre todo en lo que respecta a una producción de aceite de palma en el sudeste que sirve esencialmente al mercado internacional. Tan sólo Malasia e Indonesia abastecen en conjunto el 80% de la demanda mundial, estando en una lejana tercera posición a nivel regional, Papua Nueva Guinea. El esquema ahí desarrollado puede describirse como de comercio socioecológicamente desigual en tanto que el grueso de afectaciones ambientales y sociales son asumidas por los países productores, mientras que los beneficios y las posibilidades de generar el mayor valor agregado son acapardas por los compradores (para mayores referencias, léase: Colchester y Chao, ed, 2011).

A continuación se presentan dos esquemas (Figura 7A y 7B) que precisan los principales actores involucrados en el negocio de los biocombustibles especialmente en el continente Americano.

¹² www.afdb.org/en/news-and-events/article/afdb-to-incorporate-biomass-and-bio-energy-into-new-energy-strategy-7938/

Figura 7A. Actores empresariales en la producción de biodiesel y etanol

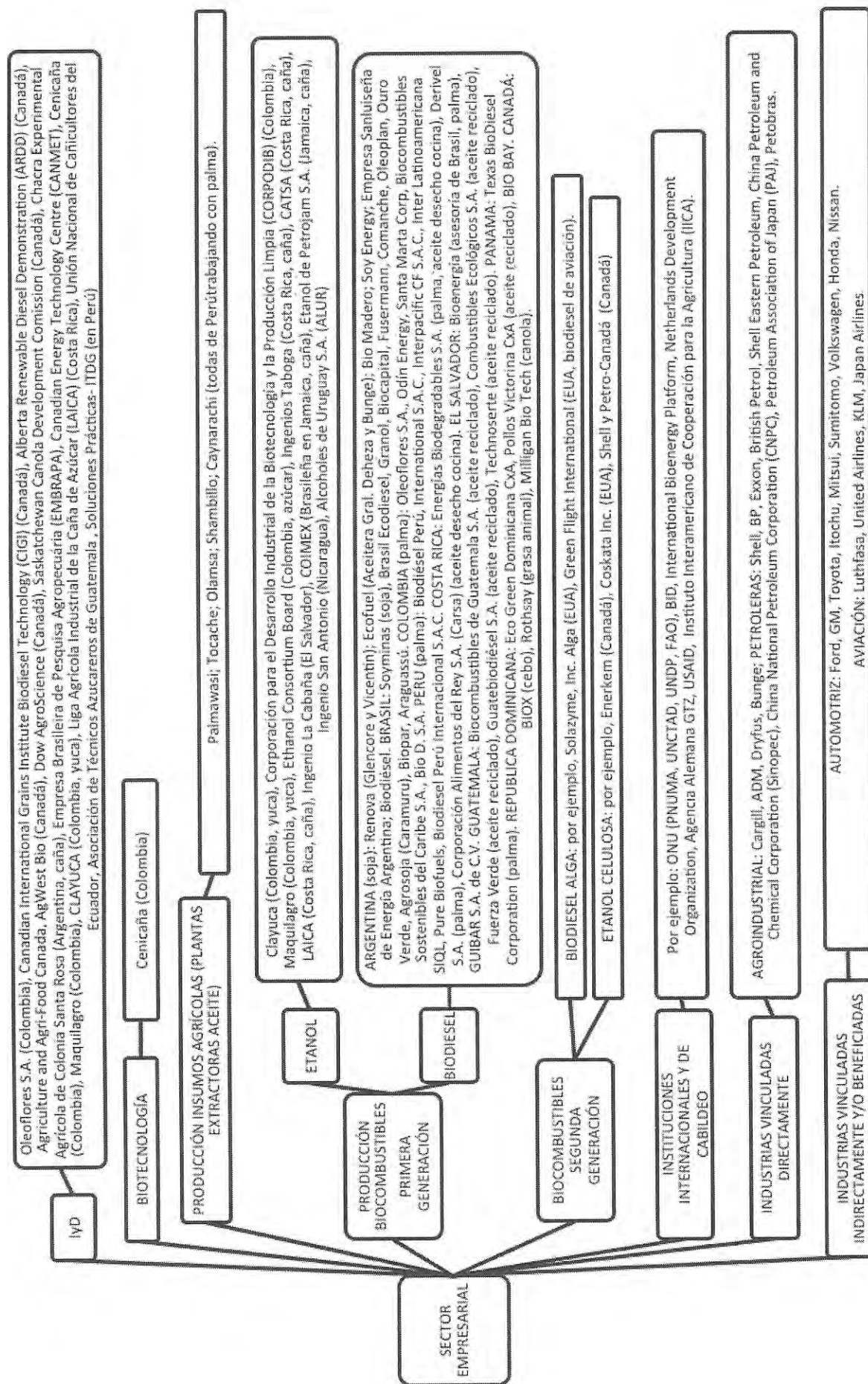
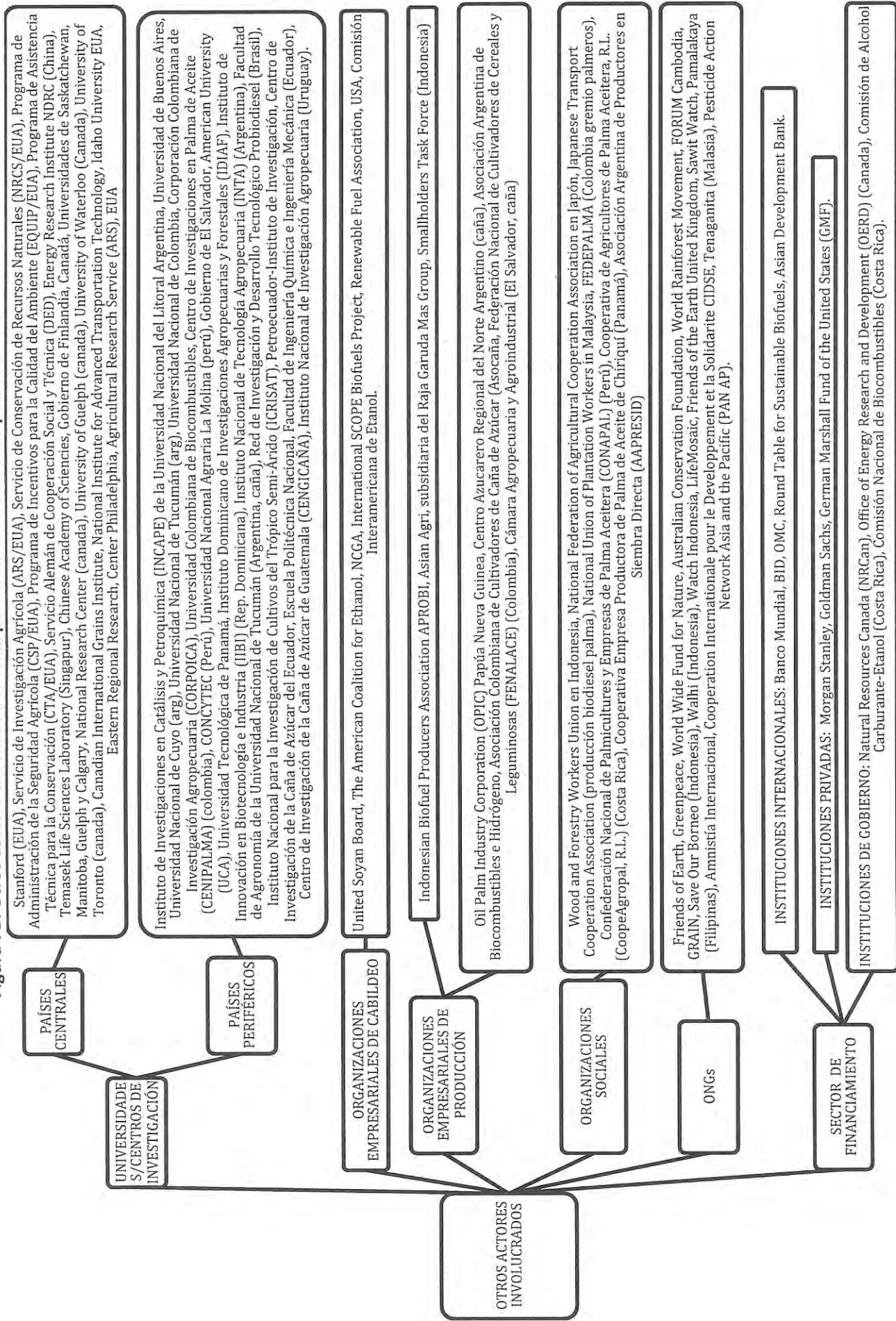


Figura 7B. Otros actores involucrados en la producción de biodiesel y etanol



4. El impulso a los biocombustibles en México

Como ya se mencionó, debido al interés del gobierno en promocionar la producción de biocombustibles, la Secretaría de Energía con apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ), encomendó la realización de una evaluación sobre la la viabilidad de producción y aprovechamiento de los biocombustibles en el sector transporte, en particular del bioetanol y el biodiesel. Para tal propósito, la Secreatría de Energía conformó en 2006 un “Comité Consultivo sobre Biocombustibles en México”, integrándose así un grupo con representantes tanto del sector gubernamental, como del sector privado, ONGs, institutos de investigación y academia. El resulado del trabajo durante 2006-2007 fue el referido informe titulado "Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México" (SENER/GTZ/BID, 2006).

En el caso del bioetanol, el estudio en cuestión consideró como potenciales insumos la caña de azúcar, el maíz, la yuca, el sorgo y la remolacha azucarera, y concluyó que: “..con base en criterios de selección como: disponibilidad de una tecnología madura, costos, necesidades de inversión, superficie requerida, índice de energía neta y emisiones y mitigación de gases de efecto invernadero se seleccionó a la caña de azúcar como el cultivo más promisorio de inmediato, que puede ser complementada por otros cultivos a mediano y largo plazo” (SENER/GTZ/BID, 2006:8). En cuanto al biodiesel, se estudiaron insumos como la semilla de colza, soya, jatropha, girasol y cártamo, así como el uso de sebo animal y aceite reciclado. Para este tipo de biocombustible el resultado fue que: “... en todos los casos los precios de producción del biodiesel son mayores que el costo de oportunidad del diesel comercializado por PEMEX... Los cultivos más competitivos son la palma, el girasol y la soya. La jatropha es promisoria pero debe resolverse el problema de posibles toxinas en la glicerina y otros subproductos generados en el proceso...Al igual que en el caso del etanol, este estudio sugiere una estrategia gradual de introducción del biodiesel en México” (SENER/GTZ/BID, 2006:10-11).

Con tales antecedentes y valoraciones, el 26 de abril de 2007, la Cámara de Diputados aprobó la *Ley de Promoción y Desarrollo Bioenergéticos* que prevé, después de varias modificaciones (véase a continuación), la creación de una Comisión de Bioenergéticos, un

Programa de Introducción de Bioenergéticos y Programas Sectoriales y Anuales relativos a la producción, almacenamiento, transporte, distribución, comercialización y uso eficiente de bioenergéticos (Ley, 2008a).

La Ley supone y se presenta como un esfuerzo para mitigar la emisiones de GEI al tiempo que permite detonar el desarrollo regional por la vía de la reactivación del sector agrícola por medio de la inversión privada, tanto nacional como extranjera (Sin autor, 2007). Las autoridades encargadas de impulsar medidas o programas de fomento a los biocombustibles, tal y como se explicita, son el gobierno federal en coordinación con los gobiernos estatales y municipales y, en especial, la Comisión de Bioenergéticos integrada por la Secretaría de Energía (SENER); la de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA); la de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); y la de Hacienda y Crédito Público (SHCP) (Ley 2008a:11).¹³

Ahora bien, como se indicó, la aprobación definitiva (por todas las partes) no se daría tras el primer intento. Y es que el visto bueno por parte de la Cámara de Diputados en 2007 causó polémica entre diversos sectores, ello debido a inconsistencias, ambigüedades, contradicciones y vacíos. En especial, se señalaba la falta de consenso sobre las oportunidades y riesgos e implicaciones asociadas a la producción de biocombustibles, sobre todo en lo que respecta a la competencia directa con la producción de alimentos por el uso del suelo y el agua. Ante tal situación y el cuestionable conflicto entre biocombustibles y seguridad alimentaria, el 1 de septiembre de 2007, el presidente Felipe Calderón Hinojosa, vetaría la Ley de Bioenergéticos bajo el argumento de que se enfocaba demasiado en el uso de maíz y la caña de azúcar (Barba, 2007). Se propuso entonces incluir el uso de algas marinas, procesos bacteriológicos, enzimáticos, y de desdoblamiento celulósico, como otros potenciales insumos para la producción de biocombustibles.

El 16 de octubre de 2007, la Comisión de Agricultura y Ganadería de la Cámara de Diputados volvería a aprobar la nueva versión de Ley, incluyéndose ahora en el artículo 11 fracción VIII la prohibición de utilizar el grano de maíz, a menos de que existan excedentes

¹³ De acuerdo con el artículo 8 de la Ley de Bioenergéticos, dicha Comisión tiene como función participar en el diseño y evaluación de "...programas de producción, comercialización de insumos, almacenamiento, transporte y distribución de biocombustibles" (Ley 2008a: 11), así como en la definición de los mecanismos para la realización de acuerdos de coordinación entre diversas autoridades. En este punto, cabe señalar que tanto la SAGARPA como la SENER son las entidades encargadas de determinar la viabilidad de los proyectos sobre biocombustibles (*Ibid*:19).

para satisfacer el consumo nacional (Merlos y Gómez, 2007). Debe precisarse que en el proceso, el 22 de julio de 2008, la Comisión intentó excluir al maíz blanco utilizado en la elaboración de la tortilla con el fin de evitar su encarecimiento (Sin autor, 2008B). A pesar de ello, la versión final de la Ley, publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 1ro de febrero de 2008, establece que es posible utilizar de manera parcial o total maíz importado para la producción de biocombustibles. En este caso, el Reglamento de la Ley de Bioenergéticos, expedido el 18 de junio de 2009, señala que no se requieren permisos previos para la producción de biocombustibles a partir de las diversas modalidades del maíz por parte de la SAGARPA, sino que únicamente se le "...notificará para que verifique la congruencia entre las importaciones de maíz y la producción de bioenergéticos del interesado" (Reglamento de Ley de Bioenergéticos, 2009: 20). De esta forma, la Ley no establece mecanismos claros para garantizar la seguridad alimentaria de México, tal y como señala su Artículo 1.

La Ley de Bioenergéticos señala en materia ambiental que la SEMARNAT es la instancia encargada de prevenir y evitar la contaminación de la atmósfera, aguas y suelos a través de la "...autorización en materia de impacto ambiental de las instalaciones para la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución y la comercialización de biocombustibles" (Ley, 2008a:13). Otros aspectos se detallan en el Capítulo VIII, Art 50 de la mencionada Ley relativos a la limitación para producir insumos a partir de un cambio de uso de suelo (de forestal a agrícola) o por medio de la expansión de la frontera agrícola. Asimismo se indica la necesidad de conservar las aptitudes naturales de las tierras, de evitar la erosión y degradación del suelo y la afectación a los ecosistemas. Además se indica el imperativo de proteger las áreas naturales y la necesidad de un uso informado de agroquímicos y de organismos genéticamente modificados de tal manera que se garantice la protección al ambiente (Capítulo VIII, Art 50, fracción II, inciso a, b y c).

Con el fin de que la estrategia de transición cumpla su objetivo se formuló la "Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética" (Ley, 2008b) publicada en el Diario de la Federación el 28 de noviembre del 2008. Ésta ley además de regular las condiciones en las que se daría la transición, apoya la investigación en vertientes de eficiencia energética y energías renovables. Para este último objetivo se creó el "Fondo Sectorial CONACYT-SENER de Sustentabilidad Energética" y

el “Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía” (SENER, 2011:21).

Pese a tal andamiaje regulatorio (véase resumen en Tabla 5), los actores involucrados en el negocio de los biocombustibles o con interés de hacerlo, han precisado que las acciones concretas en materia de escalamiento industrial de los resultados de investigación y en sí de proyectos productivos, seguían siendo relativamente limitadas, en buena medida porque los apoyos financieros gubernamentales son prácticamente inexistentes.

Tabla 5. Políticas públicas directas e indirectas en apoyo a la producción y consumo de biocombustibles en México
Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, 2011 (www.sener.gob.mx/res/0/Estrategia.pdf)
Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, 2011 (www.energia.gob.mx/portal/..%5Cres%5C0%5CPortal_Enero2012.pdf)
Fondo Sectorial CONACYT-SENER de Sustentabilidad Energética, 2011. (www.conacyt.gob.mx/fondos/FondosSectoriales/SENER/SustentabilidadEnergetica/201001/Terminos_de_Referencia.pdf)
Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006. (www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegi_desechos_2006.pdf)
Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos, 2008. (www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/doc/LPDB.doc)
Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, 2008. www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAERFTE.pdf
Política Pública "Pro Árbol" de la CONAFOR que otorga subsidios a quien opta por la reconversión productiva del uso de tierra para plantar <i>Jatropha Curcas</i> L.
Política Pública: Subsidio de Financiera Rural con el “Programa Trópico Húmedo”, es parte del “Proyecto Estratégico para el Desarrollo Sustentable de la Región Sur-Sureste-Trópico Húmedo” que otorga subsidios a quien opta por la reconversión productiva del uso de tierra para plantar Palma Africana. (Véase: www.inforural.com.mx/spip.php?article66969)
Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos (www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/PROINBIOS_20091013.pdf)
Reglamento de la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos, 2009 (www.cre.gob.mx/documento/1570.pdf)

La experiencia mexicana hasta el momento precisa que los biocombustibles de primera generación son relativamente inviables si se trata de esquemas, por un lado, a gran escala y como producción única, es decir cuando no se apuesta por la figura del ingenio termoeléctrico multipropósito, y por el otro, que carecen de apoyo político y económico por parte del Estado, lo que desde el punto de vista de los propios interesados debería incluir la incorporación del etanol en las líneas de producción, almacenamiento, distribución y venta de PEMEX y la posibilidad de alguna modalidad de venta de energía eléctrica generada por

los ingenios. Aún así, más allá de las implicaciones que abre la posibilidad del negocio de cogeneración de electricidad tanto en lo jurídico como en lo que refiere a la propia seguridad energética nacional¹⁴, los biocombustibles enfrentan fuertes críticas, sobre todo por sus potenciales impactos en materia ambiental, la demanda de tierra y de agua, entre otras cuestiones como lo es el balance energético nulo o bajo para el caso del etanol base maíz y el relativamente alto balance de la caña sólo posible gracias al uso del bagazo como

Tabla 6. Rendimiento energético anual y balance energético de los biocombustibles.

<i>Cultivo</i>	<i>Rendimiento energético (GJ/ha)</i>	<i>Balance energético (EROEI)</i>
Maíz	70	1.5
Caña de azúcar (etanol)	120	8 (mejor de los casos)
Betabel (etanol)	140	2
Yuca (etanol)	80	---
Trigo (etanol)	---	2
Palma aceitera (diesel)	193	9
Colza (diesel)	42	2.5
Soya	14	3
Celulosa	---	2 – 36 (teórico)

Fuente: Sanhueza, 2009B.

combustible de los ingenios (Tabla 6) que, como se precisó, también emite contaminantes atmosféricos.

Se suma además el señalamiento de que la lógica de detonar el desarrollo rural por la vía

del impulso a los biocombustibles es desatinada pues más bien, ése debería centrarse en la producción sustentable de alimentos básicos tanto por cuestiones de seguridad como de soberanía alimentaria, puesto que tienen como fundamento el bienestar general de la población; en contraste los biocombustibles benefician mayoritariamente a consumidores privados, nacionales o extranjeros (si éstos se exportan).

Para validar lo anterior, a continuación se precisan dos casos de producción de etanol (caña) y de biodiesel (palma) en el país dando cuenta tanto del potencial técnico, como de los principales impactos socio-ambientales estimados.

Las Figuras 8 y 9 que se presentan, ofrecen una descripción geográfica y de actores involucrados en el avance de los biocombustibles en el país.

¹⁴ En México la producción o generación de energía es una actividad reservada al Estado, no obstante se han abierto espacios, para algunos especialistas, de manera inconstitucional, para la participación de la iniciativa privada, sea por medio de contratos de servicios múltiples (terciarización de las actividades) o, para el caso de la energía eléctrica de los esquemas de co-generación y autoabastecimiento. Se trata de mecanismos para abrir la posibilidad de venta de energía eléctrica excedente generada en pequeña escala bajo el supuesto de abastecer las necesidades de la propia industria. El resultado ha sido que a la fecha México tiene una capacidad eléctrica instalada ociosa del 47%, precisamente el porcentaje de energía eléctrica generada por los privados bajo esquemas de cogeneración y autoabastecimiento y que “comprometen” al Estado a comprarles su excedente (Rodríguez, 2010).

Figura 8. Geografía de los biocombustibles en México

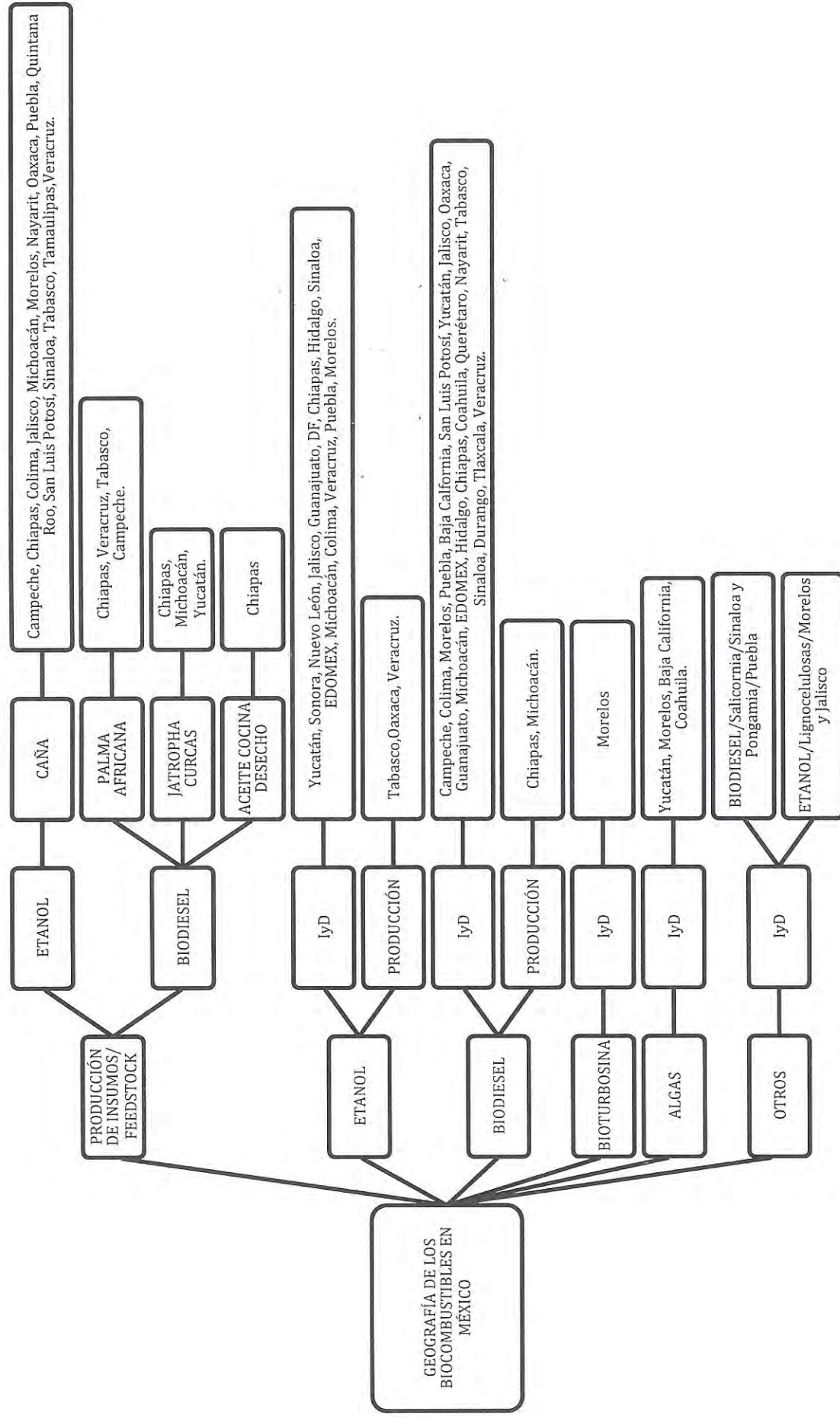
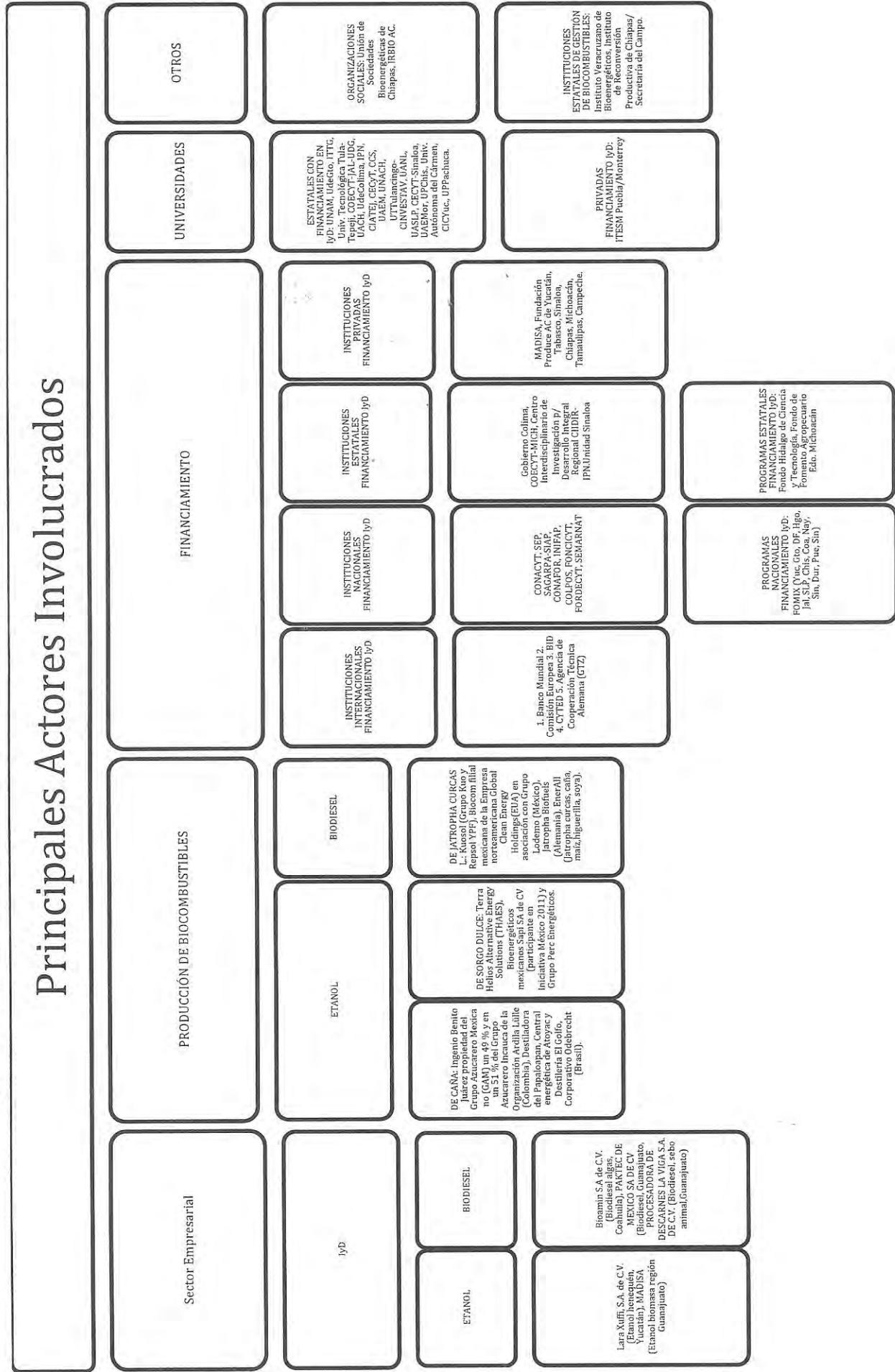


Figura 9. Actores involucrados en el avance de los biocombustibles en México



4.1 El caso de la caña

La caña de azúcar, en adelante caña, es un cultivo perene. En términos generales, las proporciones de sus componentes son: agua 71-74%, sacarosa 8-15 % y fibra 11-16 %, aunque estos varían de acuerdo a la familia de la caña, edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, lluvias, riegos, entre otros factores (CVCA, 2010: 2). Dado tal contenido de agua, es evidente que el cultivo es altamente demandante del líquido –sobre todo en las etapas de crecimiento y desarrollo, de ahí que sea central analizar de modo puntual esta dimensión de cara a la competencia por el uso del agua para otros usos así como por eventuales impactos ambientales asociados a la producción del cultivo y a su transformación en etanol (véase más adelante).

La caña de azúcar es uno de los principales cultivos perennes del país. A nivel mundial, México ocupa el 6° lugar de su la producción con un 3.8%, siendo Brasil el primer lugar con 19.1% y EUA el cuarto con un 5.2% (SAGARPA, 2007: 6). México también se coloca como el 6° consumidor del mundo con 47.9 kg/año *per capita* o unos 4.8 millones de toneladas anuales (pero se sugiere una demanda nacional de 5.4 millones de toneladas a 2012) (Ibid: 11).

La producción nacional se emplaza en unas 734 mil hectáreas, mismas que abastecen a cerca de seis docenas de ingenios en 15 estados cañeros. Las zonas de cultivo se distribuyen esencialmente en terrenos de temporal (2/3 partes) y el restante en predios de riego. Tal proporción se sostiene si se verifica la superficie sembrada por tipo de propiedad, siendo la de tipo ejidal la mayor parte (con un $\pm 72\%$). Véase Tabla 6.

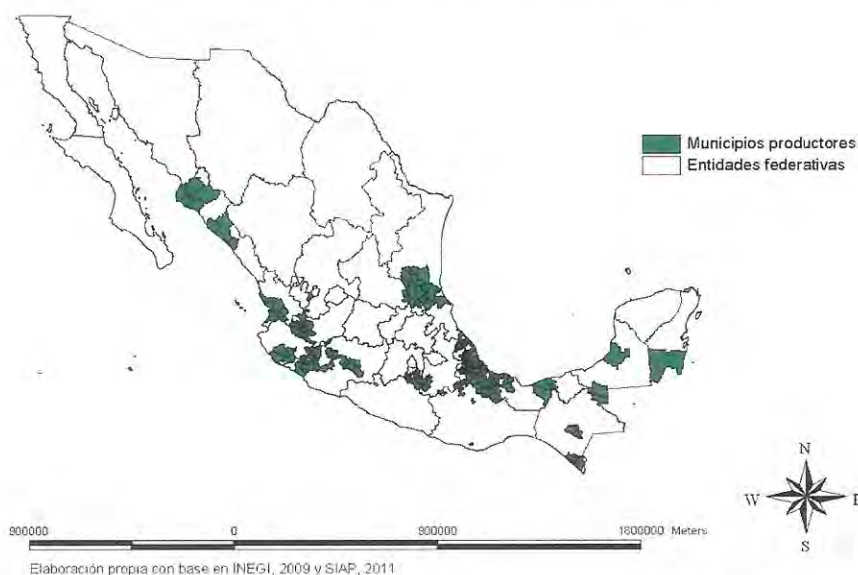
Tabla 6.

Siembra, producción y rendimiento del cultivo de caña de azúcar por estado
(Riego+Temporal 2000 – 2010)

Estado	Superficie sembrada (ha)		Producción obtenida (ton)		Rendimiento obtenido (ton/ha)	
	2000	2010	2000	2010	2000	2010
Campeche	5,209.82	9,096.28	188,799.67	322,308.50	38.43	38.25
Chiapas	27,339.80	29,284.65	2,041,984.00	2,634,040.35	87.99	89.99
Colima	9,718.00	10,939.85	673,305.00	1,018,619.10	76.35	93.11
Jalisco	67,683.00	69,707.61	5,025,039.00	6,221,412.79	79.09	90.68
Michoacán	18,631.68	14,655.75	1,140,061.20	1,209,571.87	87.52	85.78
Morelos	14,654.00	17,047.70	1,418,360.00	1,862,102.25	96.79	119.15
Nayarit	28,906.98	33,364.19	1,616,453.50	2,746,019.69	62.4	82.44
Oaxaca	36,114.00	56,272.53	2,358,050.00	3,613,337.60	65.3	65.18
Puebla	12,127.00	16,185.51	1,379,743.00	1,773,849.45	116.84	109.6
Quintana Roo	20,885.00	21,784.00	1,115,298.57	1,354,162.00	56.75	62.16
San Luis Potosí	68,880.09	68,072.00	3,138,395.00	3,032,325.34	45.63	49.93
Sinaloa	36,510.00	24,424.00	1,951,584.00	1,561,380.00	73.83	79.31
Tabasco	26,939.00	31,340.00	1,573,131.00	1,664,111.00	60.98	60.15
Tamaulipas	42,706.00	59,638.00	1,663,063.01	2,779,645.00	67.04	53.32
Veracruz	251,211.53	273,006.67	17,090,124.25	18,628,734.59	68.13	68.99
Total	667,515.90	734,818.74	42,373,391.20	50,421,619.53	68.53 (promedio)	71.63 (promedio)

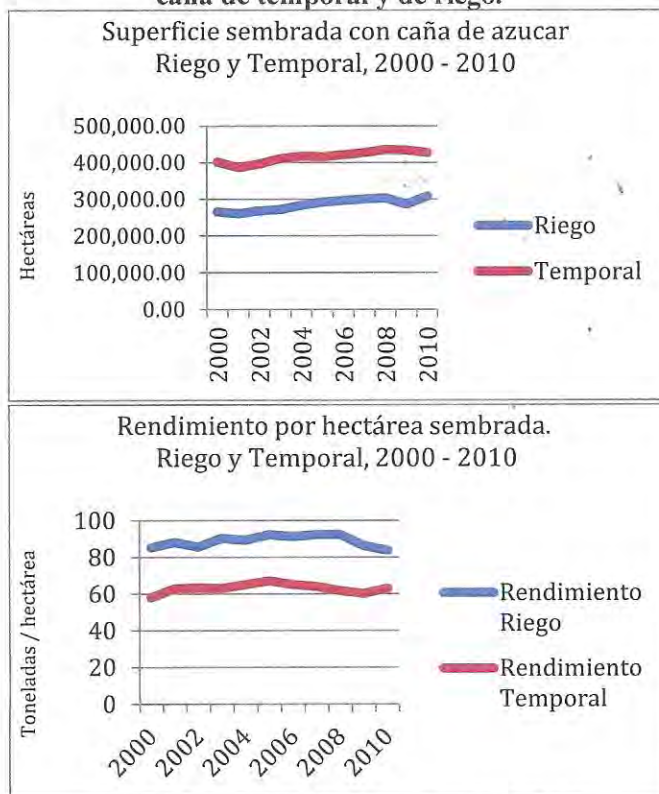
Fuente: con base en datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera:
www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351

Municipios productores de caña a nivel nacional



Ante las expectativas de producir etanol, pero también como medida para impulsar la industria azucarera del país, el *Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2007-2012* estableció como objetivo incrementar en 2.3% cada año la producción de caña de azúcar hasta llegar a 54.2 millones de toneladas en 2012 (SAGARPA, 2007: 14).

Figura 10. Superficie y rendimientos del cultivo de caña de temporal y de riego.



Fuente: con base en datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: www.siap.gob.mx

Para alcanzar este objetivo, se indica la necesidad de convertir 76 mil hectáreas de temporal a riego; incrementar la superficie industrializable y mecanizable de 25,946 hectáreas a 690 mil hectáreas; impulsar la investigación del genoma de la caña y sus posibles aplicaciones; entre otras medidas (Ibid). De igual forma, se busca elevar en 13% la superficie actual sembrada de caña de azúcar para el año 2012 pues se estima que para satisfacer la demanda de 5% de mezcla de etanol como oxigenante en las gasolinas sería necesario producir 2,240,508,889.8 litros a partir de caña de azúcar, lo cual requeriría

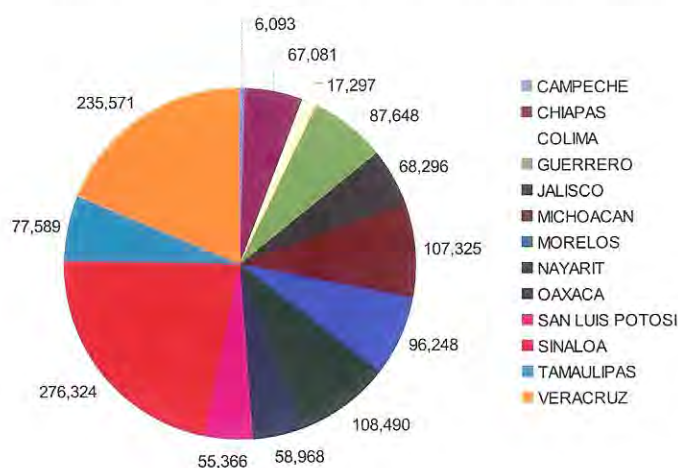
cultivar 320,072.7 hectáreas y construir 18 ingenios con una capacidad de molienda de 9,500 a 10,000 toneladas/ día (SAGARPA, 2007: 98). Pese a que una de las estrategias principales del mencionado programa es, "...elevar la producción de caña de azúcar: sustentada en un crecimiento continuo de los rendimientos en el campo, mediante agricultura de precisión, fertilización oportuna, aumento en la superficie de riego, desarrollo de nuevas variedades, compactación de superficies y un nuevo equilibrio de campo", es notorio que los resultados a principios de 2012 sean muy limitados, basando los avances esencialmente en un aumento de la superficie sembrada, es decir compitiendo por suelo cultivable puesto que el rendimiento por hectárea tuvo un incremento mínimo; muy por debajo del estimado para los cálculos de metas de producción de etanol de la SAGARPA que asumen 100 toneladas por hectárea y 75 litros de etanol por tonelada (la media de un rango posible de 70 - 80 litros) (SAGARPA, 2007: 18).¹⁵

¹⁵ Debe precisarse que parte de la caída de los rendimientos del cultivo responden a la incidencia de plagas y

Es notorio que al revisar el comportamiento de la superficie cultivada y los rendimientos por tipo de cultivo, de temporal y de riego (Figura 10), se observe un aumento comparativamente pronunciado en las tierras de riego, situación que devela mejores condiciones político-económicas para ese tipo de producción, usualmente de tipo agroindustrial y que por tanto tiende a entrar en disputa con otros usos del suelo y del agua. Al igual que en otras experiencias que han apostado al incremento de rendimientos por hectárea, tales como la brasileña, la tendencia es hacia un acaparamiento de tierras y del agua. Más adelante se revisa el caso del agua como componente clave en la producción de caña y de su transformación en etanol.

Ahora bien, en México se estima que el potencial técnico de superficie cultivable con caña es de 2.9 millones de hectáreas, casi cuatro veces la superficie actual; el grueso identificada en el estado de Veracruz (INE-UNAM, 2008: 16). En lo que respecta específicamente a las zonas potenciales de riego de producción de caña para biocombustibles (de mayores rendimientos), el cálculo en cambio se ubica en torno a 1.2 millones de hectáreas (SAGARPA, 2010A: 66). Véase Figura 11.

Figura 11.
Hectáreas potenciales de riego por estado para la producción de biomasa de caña de azúcar para etanol.



Fuente: SAGARPA, 2010A: 66.

A pesar de tal potencial visualizado para producir etanol a partir de la caña de azúcar, se reconoce que solo dos ingenios, La Gloria y San Nicolás - ubicados en Veracruz- cuentan con tecnología para producirlo (alrededor de 36 millones de litros anualmente), el primero con una capacidad de 120,000 litros/día, y el segundo con 40,000 litros/día (Martínez, 2008). Sin embargo, estos ingenios operan de manera

enfermedades como la mosca pinta (21.8% de incidencia), la rata cañera (22.9%), el gusano cogollero (9.4%) y el gusano barrenador (9.6%) y las enfermedades conocidas como raya roja (17.5%), carbón (9.9%) y la escaldadura de la hoja (12.0%) (Equihua y Benítez, 2009: 15).

irregular, además de que no cuentan con tecnología de recuperación de levadura y CO₂.

En 2009 se estima se produjo 14,504,473 litros de alcohol, sin embargo una mínima parte se utilizó para producir etanol (SAGARPA, 2010A:13)

4.1.1 Proyectos comerciales de caña identificados

La mayoría de los proyectos para impulsar la producción de etanol con caña de azúcar en el país son de carácter potencial o se encuentran retrasados y detenidos (ver cuadro 1) debido a que los precios de la caña y el esquema de protección de la industria azucarera hacen inviable hasta el momento la producción de etanol (SAGARPA, 2010A: 116).

Algunos de los proyectos comerciales para generar etanol (véase Tabla 7) son los siguientes: en el municipio El Ícaro de Veracruz, la firma brasileña Uni System do Brasil planea la construcción de una planta de etanol de 72 millones de pesos (mdp) con una capacidad de producción de 800 mil litros. Otros proyectos en Veracruz, involucran a las empresas estadounidenses Core Ventures Renewable Flux, Corval Group, y Terra Helios Alternative Energy Solutions, que con una inversión aproximada de 157.6 mdd buscan producir 136 millones de litros (al año). El etanol sería exportado a EUA (Cervantes, 2009). En la región agrícola de Mante, el Gobierno de Tamaulipas busca impulsar la reconversión de cultivos como maíz y sorgo a caña de azúcar en 22 mil nuevas hectáreas que abastecerían de materia prima a la planta de etanol “Los Aztecas” (Sin autor, 2008B). Es de subrayarse, que Tamaulipas cuenta con los ingenios de Mante, Xicoténcatl y San Miguel del Naranjo (Ibid). En Tuxtepec, Oaxaca, el gobierno estatal impulsó una planta de etanol con una inversión de 400 mdp operada por la empresa mexicana Destiladora del Papaloapan en 4 mil hectáreas de superficie cultivada (con planes a extenderse a 18 mil), sin embargo, fue cerrada un año después de su inauguración (Sin autor, 2008C). Otra iniciativa busca destinar 120 toneladas de caña para producir etanol en el ingenio azucarero “Adolfo López Mateos” (Sin autor, 2010).

Por otro lado, en Chiapas y Campeche, se informó que el Grupo Santos podría invertir 12 mdd en caña de azúcar en 1,500 mil hectáreas para producir 10.8 millones de metros cúbicos de etanol (Sin autor, 2008D). En Quintana Roo existen también proyectos potenciales por cerca de 300 mdp (Hernández Alpízar, 2008), uno de los cuales tendría un

costo de 137 mdd y produciría 500 mil litros diarios de etanol en la región cañera de Rio Hondo donde ya se cultivan 27 mil has de terreno (Sin autor, 2008E).

Tabla 7. Proyectos de etanol en México a partir de caña de azúcar.

<i>Estado del proyecto</i>	<i>Desarrollador</i>	<i>Lugar</i>	<i>Hectáreas cultivables</i>	<i>Cantidad producida (toneladas / litros)</i>	<i>Inversión estimada (mdp)</i>
Potencial	Uni-System (Brasil) Mitsubishi (Japón)	Colima			100
Potencial	Terra Helios Alternative Energy Solutions	Veracruz		136,274 litros anuales	157.6
Potencial	Uni-System (Brasil)	El Índigo, Veracruz.		800, 000 litros diarios	72
En proceso	Comisión Estatal de Energía (México)	Quintana Roo	30 mil	30,000 toneladas	60
Pendiente proyecto y plan de negocios	C.N.C. (Unión Local de Productores de Caña de Azúcar)	Morelos		50,000,000 litros anuales	
Sin información	Jorge Álvarez Zepeda			105,900,000 litros anuales	
Potencial	Grupo Azucarero Mexicano (México)	Tabasco		150,000 litros anuales	150
Sin información	Grupo Azucarero Mexicano (México)	Jalisco		400,000 litros diarios	
Potencial	Tomsa Destil(España)	Quintana Roo	27 mil	500-600 mil litros al año	137
Detenido	Destiladora del Papaloapan(México)	Tuxtepec, Oaxaca.	18 mil	900,000 litros diarios	200
Potencial	Compañía Agroenergética Los Aztecás(México)	Mante, Tamaulipas	22 mil		
Pendiente proyecto y plan de negocios	Gobierno del estado	Tamaulipas		186,000,000 litros anuales	
Sin información	BIOCOM S.A. Filial de Servicios Azucareros del Trópico S. A. de C.V. La Gloria.	Veracruz		14,000,000 litros anuales	
Pendiente proyecto y plan de negocios	Grupo Santos (México)	Veracruz, Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Chiapas	1,500,000	1,800,000 litros anuales	12 mil

Fuente: Elaboración propia con datos de diarios mexicanos e información de Sagarpa.

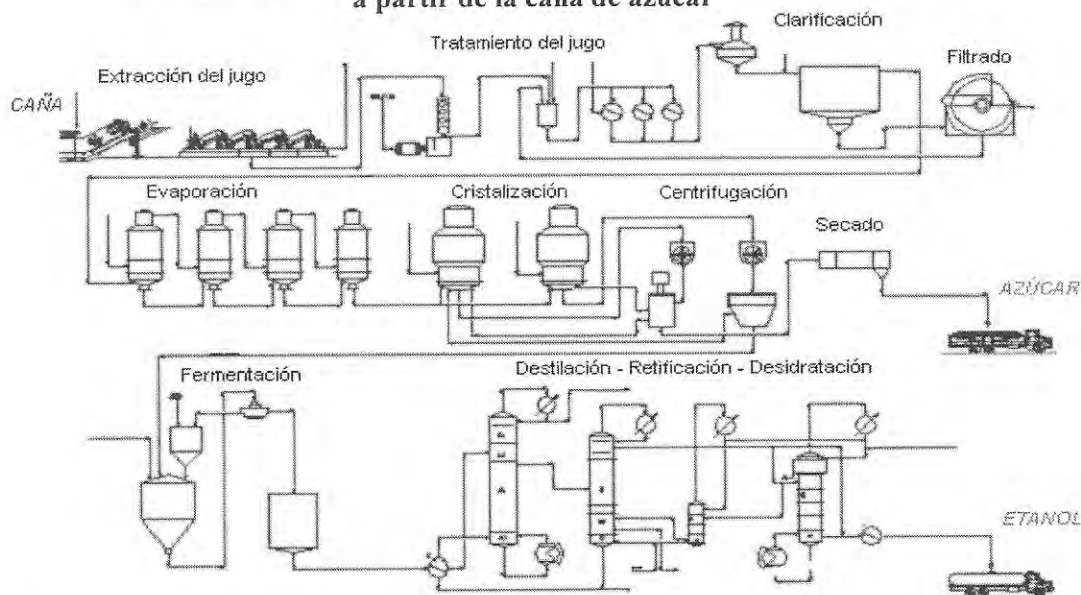
4.1.2 Breve acercamiento al proceso de producción de etanol de caña de azúcar

Existen tres procesos tecnológicos básicos para la obtención de etanol a partir de la caña de azúcar: 1) fermentación y destilación de los azúcares extraídos directamente de la

molienda; 2) a partir de la generación de mieles intermedias; y 3) mieles finales (Lazcano, 2006).

El proceso (ver figura 12) inicia con el lavado de la caña para remover el exceso de tierra, piedras y materia extraña que le restan pureza y color al azúcar refinada y disminuye el rendimiento de azúcar por tonelada de caña molida. En esta etapa, se consume agua de manera intensiva, lo que consecuentemente genera descargas de aguas residuales en esa misma proporción (Lazcano, 2006 en SENER/GTZ/BID, 2006). Posteriormente, se pasa a la fase de molienda, donde la caña pasa por cuchillos picadores que reducen el tamaño de los tallos para que sean trasladados a los molinos, donde se separa el bagazo del jugo, que contiene sacarosa; el bagazo puede ser empleado como fuente de combustible para las calderas del ingenio.

Figura 12. Proceso detallado de la producción de azúcar y etanol a partir de la caña de azúcar



Fuente: Lazcano Martínez, Ignacio. "Ethanol feedstock", en: SENER/GTZ/BID, (2006) *Potencial y viabilidad del uso del bioetanol y el biodiesel para el transporte en México*, México: 30.

Después sigue la etapa de clarificación, donde el jugo pasa por un clarificador que remueve las impurezas solubles e insolubles, y neutraliza la acidez (Ibid). El siguiente paso, es la evaporación al vacío, donde el jugo clarificado pierde dos terceras partes de su agua en las torres de evaporación. Inmediatamente después, se procede a la cristalización, donde el

jarabe o meladura producido, compuesto en un 65% sólidos y 35% agua, pasa a un tacho¹⁶ donde se evapora aún más. Luego, se pasa a la centrifugación, donde la mezcla espesa de miel y los cristales de azúcar pasan del tacho a las centrífugas, que se separa la melaza del azúcar. La melaza va a los tanques de almacenamiento y su uso final es múltiple (alcoholes y licores); mientras que el azúcar crudo centrifugado pasa a los secadores para eliminar la humedad restante (Lazcano, 2006).

Posteriormente, en la fase de refinación, el azúcar es almacenada, separada y clasificada antes de enviarla al consumo nacional o para exportación. El proceso continúa con la fermentación alcohólica de la melaza o el jugo, que produce una solución diluida de etanol en agua, que después se procesa en columnas de destilación, para que la solución diluida tenga menos 10% en peso de etanol. Una vez finalizada la destilación se procede a separar el agua del etanol debido a que las mezclas de etanol con gasolina deben contener 0,5 % de agua (Lazcano, 2006: 88).

Aunado a lo anterior, cabe señalar que en los ingenios de azúcar, después de producir el jarabe por concentración del jugo de la caña, se puede generar etanol a través de la melaza o miel C, mieles B o intermedias, y jugo directo¹⁷. En el primer caso, utilizando las melazas agotadas resultantes de la fabricación de azúcar, se estima una producción de etanol de 6 y 12 litros por tonelada de caña procesada (Lazcano, 2006: 28). En cuanto a la miel B, se disminuye la cantidad de sacarosa y se desvía más melaza hacia la producción de etanol. Enríquez Poy (1998) citado por Lazcano, calcula que la miel B puede producir 104.3 kg de azúcar y 14.6 litros de etanol por tonelada de caña. Finalmente, en el tercer caso, se desvía más jugo de caña hacia la producción de etanol, hasta el punto de no producir azúcar. Se estima que a partir de una tonelada de caña con 13 a 14% de sacarosa, se obtienen de 75 a 80 litros de alcohol anhidro (Lazcano, 2006: 33; (www.bioenergéticos.gob.mx; Cushion, Whiteman y Dieterle, 2010).

¹⁶ Los tachos son evaporadores de simple efecto para la cocción de la azúcar. Ingenio San Carlos. 2011. *Proceso de elaboración de azúcar*. Ecuador, febrero. Disponible en: http://www.sancarlos.com.ec/pdf/proceso_azucar.pdf. (consulta: 14 de junio de 2011).

¹⁷ Las mieles y el jugo se obtienen mediante tres cristalizaciones que se separan los cristales de sacarosa de la miel, a través de centrifugación. De esta forma, la fase de cristalización y centrifugación “permite obtener el azúcar A y el miel A, luego esta miel A se somete a cristalización y centrifugación, resultando el azúcar B y la miel B, finalmente y de la misma forma se produce el azúcar C y la miel C, considerada agotada ya que no puede recuperar más sacarosa” (Lazcano, 2006: 27).

4.1.3 Implicaciones ambientales del etanol base caña.

Como ya se ha descrito, la producción de caña de azúcar requiere de un uso intensivo de recursos naturales como agua, tierra y energía, y de la función receptora del ambiente para asimilar desechos como la vinaza y el hollín que contaminan suelos, aguas, y la atmósfera (Pérez y Álvarez, 2009: 33); ello como resultado de la quema de la caña de azúcar previo al corte y de la quema del bagazo para la generación de energía¹⁸, del uso intensivo de agua, pero también de maquinaria, herbicidas y fertilizantes; entre otras cuestiones.

El proceso de preparación del suelo, siembra y cosecha de la caña de azúcar implica la reducción de la biodiversidad, emisiones de GEI, así como la erosión y presión sobre el suelo como consecuencia de la quema o tala de árboles (en su caso), y no en pocas ocasiones la reconversión de cultivos (Gómez *et al.*, 2008: 11,12,15) o la apertura de nuevas tierras de cultivo. De esta forma, disminuye la función receptora del suelo, en especial su capacidad de absorción de humedad debido a una elevada extracción de nutrientes. Lo anterior, también es resultado en gran medida del uso de agroquímicos, que en el corto plazo "...estimulan la productividad del trabajo mediante el incremento de la energía mecánica aplicada a la agricultura, y la productividad de la tierra a través del aumento de la disponibilidad de nutrientes y suministro de agua por hectárea" (Giampietro, 2003: 2). Sin embargo, en el mediano y largo plazo no sólo crean una dependencia a los combustibles fósiles sino toda una serie de afectaciones sociales y ecológicas como la contaminación del agua para consumo humano por el arrastre del nitrógeno y fósforo de los fertilizantes o la reducción de la disponibilidad de tierra y agua para otras actividades agrícolas (Gómez *et al.*, 2008: 16).

Además, la producción del etanol con caña de azúcar contamina el suelo y el agua debido a la generación de vinazas, principal subproducto, ello a pesar de tener un potencial relativo

¹⁸ La quema de la caña de azúcar se realiza para aumentar la productividad de los corteros, reducir las plagas, eliminar las malezas y la cantidad de materia extraña. Por su parte, la contaminación producida por los ingenios azucareros consiste en la emisión de partículas a la atmósfera (provenientes del bagazo quemado y una pequeña cantidad de polvos y partículas sin quemar), así como gases disueltos en la atmósfera (CO₂ y SO₂). Los procesos de lavado de tanques evaporadores también provocan emisiones de gases por el uso de ácido muriático y sosa cáustica. Según cálculos de Equihua y Benítez (2009), tales emisiones se estiman en 0.0488 y 0.0717 litros por tonelada de caña, respectivamente, aunque buena parte del volumen se puede descargar en forma líquida directamente a suelos y ríos.

como abono. A lo dicho se suman otros desechos, tanto líquidos como sólidos. De acuerdo con Chavarría (2008) citado por Pérez y Álvarez (2006: 34), la cantidad de vinaza generada por cada litro de etanol producido, se estima en 12-14 litros a partir del jugo de caña; 8-12 litros a partir de mieles; y 1-4 litros a partir de matadura (Ibid). Ometto *et al.* (2009), precisa que en la práctica las cifras rondan los 15 litros de vinazas y 4,085 kg de por litro de etanol producido; en tanto que el estudio de la SENER/BID/GTZ (2006) calcula un rango de 11.2 - 17.8 litros de vinazas a partir de jugo de caña.

En un estudio de ciclo de vida del etanol típicamente se utilizan ciertos criterios para evaluar la emisión de GEI y el balance energético de la producción de etanol, tanto durante la fase agrícola como industrial, incluyendo en ambos casos el transporte de insumos/productos.

Así, por ejemplo, en la fase de producción de insumos, la agricultura, se precisa que las emisiones generadas por el cambio del uso del suelo, y el uso de fertilizantes con nitrógeno, fósforo y potasio se contabiliza en términos de kilogramos de CO₂e por hectárea (kgCO₂e/ha). Asimismo, con esta medida se calculan las emisiones generadas por el empleo de cal, herbicidas, insecticidas y semillas; el uso de combustibles (gasolina, gas natural, gas licuado de petróleo) y electricidad para el transporte de insumos, uso de maquinaria agrícola, y funcionamiento de instalaciones (Enriquez Poy, s/f: 9). Denota que hasta la fecha los estudios de ciclo de vida no incluyan las emisiones pre-cosecha que ayudan a “limpiar” alrededor del 25% de la masa del cultivo de caña que no es procesada en los ingenios. Estimaciones recientes para el caso Brasileño, indican que esas emisiones, en g/kg⁻¹ (gramos de contaminante por kilogramo de biomasa quemada), son: 1,303 ± 218 para el caso del CO₂, 65 ± 14 para CO, 1.5 ± 0.4 para NO_x, 16 ± 6 para hidrocarburos no quemados, y 2.6 ± 1.6 para particulado 2.5 (Azeredo et al, 2012).

En cuanto a la fase industrial, las emisiones contaminantes derivadas del consumo de biomasa, agua, energía primaria, diesel, carbón y gas natural para la producción de electricidad, el transporte de los cultivos y químicos al Ingenio o planta productora, y el funcionamiento de la planta, se miden en gramos de CO₂ equivalente por litro (g CO₂e/L) (Ibid). Otros elementos que se llegan a valorar con el mismo criterio, son: la distribución de etanol, y la gasolina convencional (cg) producida, distribuida y consumida, así como los GEI desplazados por litro de etanol.

El resultado de uno de los primeros estudios más completos de ciclo de vida del etanol de caña, precisa que se emiten unos 1,680 kg de CO₂ por cada mil litros de etanol producido mediante fermentación de miles finales o jugo clarificado (Enriquez Poy, s/f). Otros han agregado diversos elementos importantes, por ejemplo, que en el ciclo productivo se utilizan: a) 10,170 litros de agua para la dilución por cada mil litros de etanol producidos (generando un drenaje de unos 11 mil litros); b) 1.5 kg de levaduras para la fermentación; y c) se generan 30 kg de levadura seca que puede ser utilizada como alimento animal y vinazas en cantidades no definidas (en Equihua y Benítez, 2009: 39); aunque cifras sobre vinazas de otros autores ya han sido mencionadas previamente.

En lo que respecta específicamente a las emisiones generadas, datos recabados por Equihua y Benítez (2009) precisan en cambio que los valores medios de contaminantes emitidos, sin considerar la quema previa al corte, relacionados al procesamiento de la caña son 26.21 kg de CO₂/ ton (estimación para México)¹⁹, además de 8.53 kg de cenizas / ton y emisiones de SO_x y particulado de 40 – 50 µ.

A lo anterior debe entonces sumarse las emisiones por quema del cultivo, mismas que en Colombia se estiman en 822 kg/ha de monóxido de carbono en promedio, con acumulados anuales de hasta 136,620 kg/ año (Molina et al, 1998 en Equihua y Benítez, 2009). En este punto, no deja de ser importante precisar los cálculos de Sanhueza (2009A) que sugieren que de incluirse en la contabilidad de emisiones asociadas al proceso de producción de etanol de caña, la generación de carbono negro, las emisiones de CO₂ de ésta sobrepasaría las producidas por una cantidad equivalente de gasolina.

En lo que concierne al uso de agroquímicos la energía requerida por kilogramo de nitrógeno, fósforo, potasio, cal, herbicida e insecticidas, se contabiliza en MJ/kg, mientras que la cantidad aplicada por unidad de área de estos fertilizantes se mide en kg/ha. De igual forma, el estudio, debería idealmente incluir la energía consumida en la fabricación de fertilizantes, incluyendo el empaquetado, manejo y su transportación. Datos de Equihua y Benítez (2009: 141) precisan que el uso de fertilizantes en el estado de Veracruz ronda los 600 kg por hectárea. García et al (2011: 2092) ofrecen una estimación de nutrientes necesarios de: 126 kg/ha/año de uso nitrógeno; 42 kg/ha/año de fósforo; 150 kg/ha/año de (óxido de) potasio; 3mil kg/ha/año de (óxido de) calcio; y 2 kg/ha/año de pesticidas. Los

¹⁹ En Brasil, con tecnología de vanguardia, la cifra se estima en 17.7 kg/ton.

factores de emisiones de tales sustancias han sido estimados por los autores en 6.41 kg de CO₂e por kilogramo de nitrógeno; 1.18 kg de CO₂e por kilogramo de fósforo; 0.66 kg de CO₂e por kilogramo de (óxido de) potasio; y 0.29 kg de CO₂e por kilogramo de (óxido de) calcio (Ibid).²⁰ Hesel (1992) por su parte calcula el costo de los pesticidas en 420 MJ/kg-1, considerando el empaquetado y su manejo lo que significa unos 69 gr de CO₂e por MJ de pesticida (Audsley et al, 2009: 6). Esta intensidad de uso de agroquímicos, con expectativas a ser creciente en tanto se expande la producción de biocombustibles, se da en un contexto de severa trasgresión de la *frontera ecológica*²¹ establecida para el ciclo del nitrógeno (3.4 veces por arriba del límite) y muy próxima para el caso del fósforo (a un 15% de llegar a su máximo). Y lo que es más, las proyecciones sugieren un aumento de entre un 10% y 20% de los afluentes de nitrógeno para 2040 y de entre un 50% - 100% de los de fósforo para 2050 (UNEP, 2010).

Los datos revelan por tanto la importante demanda energética de los cultivos de caña, a la que se debe sumar el consumo de combustibles y de electricidad (por ejemplo para bombeo de agua y operación del ingenio); el trabajo involucrado en el transporte y actividades agrícolas; el uso de maquinaria agrícola en términos de Mj/ha. En cuanto al transporte de insumos, éste se calcula en kg/ha, mientras que el transporte de energía en MJ/kg (Enríquez Poy, s/f: 7). Según García et al (2011), el consumo promedio de diesel consumido en el cultivo asciende a 109 kg/ha al año, a lo que se suma el combustible empleado en el transporte de la biomasa al ingenio por una distancia promedio, para los casos estudiados - en México-, de 87.2 km (ida y vuelta).

En la etapa industrial, se calcula el diesel consumido en el transporte de la caña de azúcar y de los químicos al Ingenio o a la planta procesadora; el consumo de agua empleada en el proceso de producción de etanol; los requerimientos de carbón y gas natural para la producción de electricidad y el funcionamiento de la planta (Ibid). García et al (2011) sugieren una distancia promedio en la transportación de la mezcla de unos 300 km para el caso Mexicano (esencialmente del estado de Veracruz).

²⁰ Smil (1987) y Pimentel y Pimentel, (1996) citados en Giampietro (2003: 5), han calculado el costo energético del nitrógeno en 60–63 MJ kg – 1, el cual se eleva a 85 MJ kg-1 cuando se produce en centrales energéticas que funcionan a partir de carbón. En el caso del fósforo, los mismos autores estiman un promedio de entre 12.5 y 25 MJ kg-1, y de 5 y 10.5 MJ/kg -1 para el potasio (Ibídem).

²¹ Se refiere al límite de modificación o alteración de los ciclos biogeoquímicos del planeta que se ha calculado como situación que una vez transgredida desembocaría en efectos irreversibles y relativamente impredecibles. Para mayores referencias, véase: Rockström et al, 2009.

Finalmente, el estudio considera el total de la energía involucrada en el funcionamiento del Ingenio o la planta procesadora en Mj/litro; el rendimiento del cultivo en kg/ha; el rendimiento de la planta procesadora en litro/kg de cultivo; el rendimiento de la caña de azúcar por unidad de tierra en litro/ha; y el rendimiento de la energía fósil por unidad de tierra en Mj/ha (Ibid).

García et al (2011) estiman un consumo de combustibles fósiles en la fase industrial de 10.7 kg/ton de caña y de 7.6 kWh/ton de caña. Asimismo, un rendimiento de la planta de 8.8 litros de etanol por tonelada de caña (para mieles tipo C, utilizando el bagazo y combustibles fósiles en el proceso).

Ahora bien, para calcular la cantidad de agua requerida para producir cada tonelada de caña de azúcar anualmente, desde su siembra hasta su cosecha, se calcula el *agua virtual* y la *huella hídrica* (o agua directa e indirectamente usada en la producción y por tanto asociable al consumo).²² Asimismo, se considera la oferta hídrica para estos requerimientos generada por el nivel de pluviosidad. La diferencia entre ambos resultados permite obtener la cantidad de agua requerida de las fuentes hídricas superficiales y subterráneas para abastecer el resto de requerimientos de la caña de azúcar.

En el caso de México el requerimiento de agua por cultivo [RAC] es de 12,884.3 m³/ha, tomando en cuenta una evapotranspiración promedio anual en la zona de 3.74 mm/día en un clima subtropical con lluvia de verano. Con base en lo anterior, el agua virtual del cultivo de caña en Veracruz durante el periodo 2000 – 2010 se estima en un total de 1,991 m³/ton. Por su parte, la huella hídrica del cultivo de caña en Veracruz en un periodo de diez años se estima en 35,863,304,902.18 m³, ó 3,259,727,270 m³ promedio anual. Lo anterior significa que para producir una tonelada de caña, según las condiciones del estado de Veracruz, se requieren alrededor de ~181 m³ o ~181 mil litros de agua. Esto es que cada litro de etanol producido tiene detrás una huella hídrica de unos 2,580 litros a lo que se debe sumar la huella correspondiente al proceso industrial estimada entre el 6% y el 10% de la huella hídrica del cultivo (Gerbens-Leenes y Hoekstra, 2009); es decir unos 150 a 250

²² El *agua virtual* refiere al líquido utilizado en la producción, esto es el agua contenida en el producto y la empleada en su producción. Es un indicador de impacto hídrico bruto. La *huella hídrica* en cambio verifica el uso directo e indirecto de agua asociado al consumo. Más recientemente se clasifica en huella hídrica azul, verde y gris para dar cuenta del agua consumida, evaporada y contaminada, respectivamente. Está asociada a contextos geográficos específicos aunque no necesariamente se asocia a cómo tal o cual huella afecta los recursos hídricos locales, los ecosistemas y a la diversidad de usuarios. Consúltase, por ejemplo: Chapagain et al, 2004; Hoekstra y Hung, 2002.

litros adicionales para un total de 2,735- 2,838 litros de agua por litro de etanol. La cifra obtenida por cálculos propios concide con el promedio obtenido por Gerbens-Leenes y Hoekstra (2009) y Gerbens-Leenes, Hoekstra y Van der Meer (2009) a partir de revisar varios países y quienes fijan la huella hídrica del cultivo de caña en 2,516 litros de agua, mientras que la huella hídrica de cada litro de etanol de caña en 2,855 litros de agua o 122 litros por Mj de energía obtenido.

No sobra precisar que el potencial de los biocombustibles está biofísicamente limitado no sólo por los escenarios futuros de disponibilidad de biomasa y el balance energético (las leyes de la termodinámica), tal y como ya se describió, sino también por la disponibilidad de agua. Las estimaciones precisan que al 2010 se empleaban unos 44 km³ o el 2% del total del agua para el riego de cultivos destinados a la producción de biocombustibles. La implementación de las metas fijadas por diversos países requeriría entonces de unos 180 km³ adicionales de agua (UNEP, 2010), lo que claramente pondría bajo presión diversas reservas de agua y aumentaría la disputa entre diversos usos de agua y entre distintos usuarios con variadas cuotas de poder.

La Tabla 8 resume los factores que más adelante se utilizarán para cálculos de las implicaciones asociadas al uso de etanol por el parque vehicular del país hoy y a 2025.

Tabla 8. Indicadores del ciclo de vida del etanol, base caña.		
<i>Fase Agrícola</i>		
<i>Indicador</i>	<i>Factor</i>	<i>Factor por litro de etanol (asumiendo 75l/ton)</i>
Fertilizantes + Pesticidas ^{bfg}	3,318 kg/ha/año (nitrógeno, fósforo, potasio y calcio) + 2 kg/ha/año de pesticidas. Emisiones fertilizantes: 1,826 kg de CO ₂ e / ha año Emisiones pesticidas: 29 kg de CO ₂ e / ha año TOTAL: 1,855 kg CO ₂ e / ha año ó 26.5 kg CO ₂ e / ton	353 gr CO ₂ e
Huella hídrica del cultivo [*]	2,580 litros de agua / litro de etanol	
Diesel ^b	109 kg / ha al año ó 1.55 kg /tonelada de caña	22.1 gr
Emisiones de quema al corte ^h (según factor más bajo)	CO ₂ : 1,303 ± 218 gr / kg de biomasa quemada	17.37 kg de CO ₂
	CO: 65 ± 14 gr / kg de biomasa quemada	860 gr de CO
	NO _x : 1.5 ± 0.4 gr / kg de biomasa quemada	20 gr
	hidrocarburos no quemados: 16 ± 6 gr / kg de biomasa quemada	213 gr
	particulado 2.5: 2.6 ± 1.6 gr / kg de biomasa quemada	34 gr
<i>Fase Industrial</i>		
<i>Indicador</i>	<i>Factor</i>	<i>Factor por litro de etanol</i>
Etanol producido (productividad) ^{ab*}	70-75 litros / tonelada de caña (con base en un contenido de sacarosa de 13 – 14%)	-----
Diesel ^{ab}	10.7 kg/ton de caña	~142.6 gr ó 170 ml
Electricidad ^{ab}	7.6 – 12.5 kWh/ton de caña (dependiendo de si se usa o no el bagazo como combustible)	~0.1 – 0.166 kWh 50 – 82 gr CO ₂ e

Agua de disolución ^c	10.17 litros / litro de etanol	
Agua (otros usos industriales) ^{a*}	~ 80 -160 litros / litro de etanol	
Levaduras ^a	25 gr / litro de etanol	
Vinazas ^{ade}	12 litros / litro de etanol (de un rango de 8 -17 l/l).	
Bagazo ^d	4,085 kg / litro de etanol	
Contaminantes ^c	Cenizas : 8.5375 kg / tonelada de caña	113.8 gr
	CO ₂ : 26.21 kg / tonelada de caña (estimación para México)	349.46 gr
	SO _x : 0.342 kg / tonelada de caña	4.5 gr
	Polvos: 0.65 kg / tonelada de caña (promedio de particulado:40 – 50 µ)	8.6 gr
	Purgas de caldera: 25 litros (sosa caustica-ácido muriático) / tonelada de caña	357 ml
Transporte		
Indicador	Distancia	
Transporte de biomasa ^b	87.2 km	
Transporte de mezcla ^b	300 km	
* Estimación propia		
Fuente: elaboración propia con base en a) SENER/BID/GTZ; b) García et al, 2011; c) Equihua y Benítez, 2009; d) Ometto et al, 2009; e) Pérez y Álvarez, 2006; f) Hesel, 1992; g) Audsley et al, 2009; h) Azeredo et al, 2012.		

4.2 El caso de la palma Aceitera en México

El aceite de palma africana representa casi el 25 % de la producción de aceites vegetales en el mundo. Es considerado como el segundo aceite más ampliamente producido sólo superado por el aceite de soya. A pesar de ello, dentro de las plantas oleaginosas, es la de mayor rendimiento en toneladas métricas de aceite por hectárea. En comparación con otras especies oleaginosas, la palma africana tiene un rendimiento por hectárea varias veces superior; para producir las 3.7 toneladas de aceite por hectárea de palma se necesita sembrar diez de soya y nueve de girasol (Infoagro, s/f; Aníame, 2006: 1). Se calculan más de 40 toneladas de racimos de fruta fresca por hectárea al año, que se traducen en 9.8 toneladas de aceite con los que se pueden producir más de 12,000 litros de biodiesel por hectárea. (INE, *et.al.*, 2008: 49).

Actualmente la palma aceitera o africana se cultiva comercialmente en grandes plantaciones en al menos 43 países, todos ellos ubicados en el trópico. Los mayores productores de aceite de palma en el mundo son Malasia (45%), Indonesia (39%) y Nigeria (6%) respectivamente. En América Latina, los principales países productores de palma africana son Colombia (con el 62% de la producción continental) y Ecuador, seguidos por

Honduras, Costa Rica, Guatemala, Venezuela y México (faostat.fao.org; Pereira de Souza, *et. al*, 2010).

Si bien en México la palma de aceite actualmente tiene un gran auge, especialmente en Chiapas, ésta no constituye una novedad pues su cultivo se remonta al año de 1952 cuando se importaron 30 mil semillas de Honduras y fueron enviadas a la Costa de dicha entidad federativa. Con ello, la familia Bernstorff estableció la primera plantación comercial de palma de aceite con una superficie de 200 hectáreas, en la finca “La Lima” ubicada en el municipio de Villa Comaltitlán, Chiapas. Posteriormente introdujeron semillas provenientes de Costa de Marfil, África, con lo que incrementó su plantación a 700 hectáreas. (Castro, 2009; Velasco, 2010: 92).

En 1975, la Comisión Nacional de Fruticultura inició el fomento del cultivo y para ello, desde ese año y hasta 1982, se importaron 1,078,000 semillas de Indonesia, Costa de Marfil y Costa Rica, así como equipo para extracción de aceite con capacidad de dos toneladas de racimos por hora. Con estas acciones se logró el establecimiento definitivo de 287 hectáreas en el municipio de Acapetahua (Castro, 2009; Velasco, 2010: 92).

Para principios de la década de 1990, la superficie sembrada con palma alcanzó las 2,800 hectáreas y en 1996 existían un total de 36,874 hectáreas (Castro, 2009). De ellas el estado de Chiapas contaba con el 44.2%, seguido de Tabasco con el 20.2%, Veracruz con 19.4% y finalmente el estado de Campeche con el 16.2% (Plan Rector, 2004).

El interés por aumentar la producción de aceite de palma en México en 1996, durante el gobierno de Ernesto Zedillo (1994-2000) se debió a que la demanda nacional de aceite de palma ascendió a 130 mil toneladas métricas y existía un déficit nacional del 97%. De recordarse que el aceite de palma tiene diversos usos en los alimentos procesados.

El gobierno federal propuso entonces la expansión de los cultivos en un total de 2.5 millones de hectáreas. De haber alcanzado tal objetivo, México se habría posicionado en tercer productor mundial (Velasco, 2010: 91). Sin embargo, en 2001 el cultivo de la oleaginosa, en los cuatro estados arriba señalados, experimentó una crisis a causa de la caída de los precios del aceite de palma así como resultado de una serie de desastres naturales como inundaciones, plagas e incendios que afectaron severamente la producción. Ello significó la pérdida de 12 mil hectáreas, de las cuales Chiapas registró la mayor

superficie dañada con casi el 75% del total. Consecuentemente, muchos productores abandonaron sus plantaciones.

Pese a los esfuerzos por recuperar lo perdido, en el ciclo 2003 la superficie sembrada de palma bajaba a 29,167 hectáreas; el 80% de tierras de temporal y el 20% en unidades de riego, y prácticamente todas en el estado de Campeche (Plan Rector, 2004; Castro, 2009).

A raíz de tal crisis, se decidió impulsar una estrategia más agresiva para ampliar la superficie de plantaciones de palma aceitera como un monocultivo estratégico para el país. Con este objetivo en mente, la SAGARPA lanzó en 2004 el Sistema Producto²³ Nacional de Palma de Aceite. Éste cubre tres regiones del trópico-húmedo mexicano que cumplen con las condiciones agroecológicas para la producción de la oleaginosa: 1) En la Zona Pacífico, Chiapas con dos regiones, Costa-Soconusco y Selva; 2) En la zona del Golfo de México, el estado de Veracruz –Texistepec, región de Jesús Carranza, las Choapas y Uxpanapan- y Tabasco –Balancán, Tenosique y Jalapa; 3) En la Península de Yucatán, Campeche –Sabancuy-Escárcega, Aguacatal y Palizada (Plan Rector, 2004: 3).

México produce sólo el 0.1% del aceite de palma, ocupando el lugar 29 de los 42 países productores de palma de aceite del mundo y el lugar 10 en América entre los 13 países productores (Castro, 2009: 221). Más aún, de acuerdo con la Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles A.C. (ANIAME, 2006: 2), nuestro país ha venido incrementando su dependencia respecto al mercado internacional de productos oleaginosos. Sus importaciones de aceite de palma representan el 1% del total mundial y las semillas que se siembran en Chiapas, Campeche y Veracruz son importadas en su totalidad de Costa Rica y Colombia (Plan Rector, 2004: 16, 29).

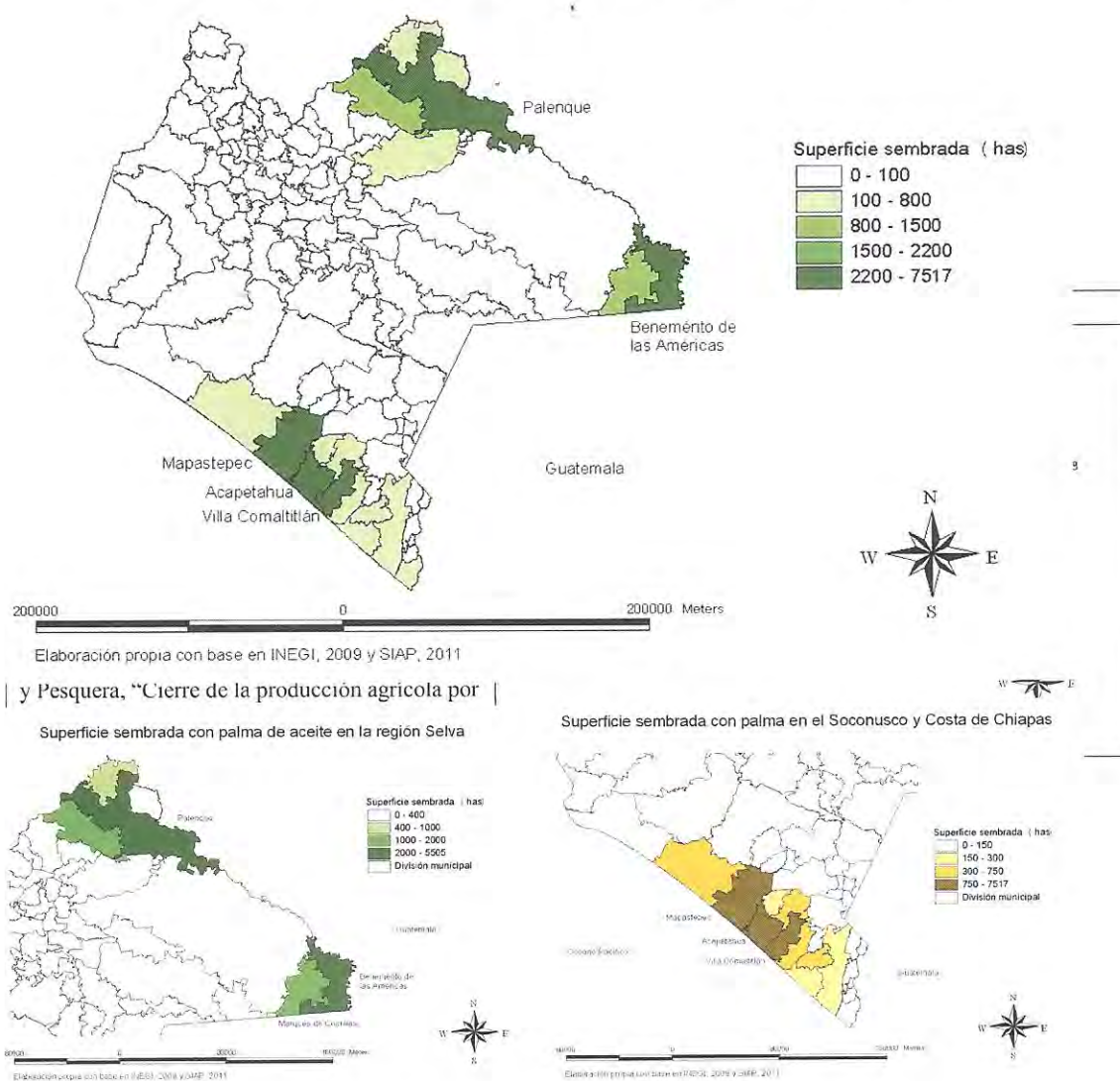
A pesar de lo anterior, la superficie cultivada con palma aceitera se ha extendido en los últimos años para los cuatro estados en cuestión. De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), para 2009 se registraron 36,189.09 hectáreas sembradas con palma de aceite a nivel nacional, cifra que al cierre del 2010 aumentó a 49 581.89 hectáreas, contexto en el que Chiapas seguía siendo la principal zona productora. Véase Tabla 8.

²³ El Sistema Producto es definido por la Ley de Desarrollo Rural Sustentable como “el conjunto de elementos y agentes concurrentes de los procesos productivos de productos agropecuarios, incluidos el abastecimiento de equipo técnico, insumos y servicios de producción primaria, acopio, transformación, distribución y comercialización (Art. 3, fracc. XXXI).

Las hectáreas sembradas en ese último estado se localizan principalmente en tres regiones administrativas: Selva, Istmo-Costa y Soconusco debido a que son precisamente aquellas que comparten las características edafoclimáticas y ecológicas que requiere ese cultivo oleaginoso. Véase Figura 13.

Figura 13

Municipios productores de palma africana en Chiapas, 2010



El proyecto del estado de Chiapas para la producción creciente de insumos de biodiesel es parte clave de un programa de reconversión productiva más amplio que busca impulsar

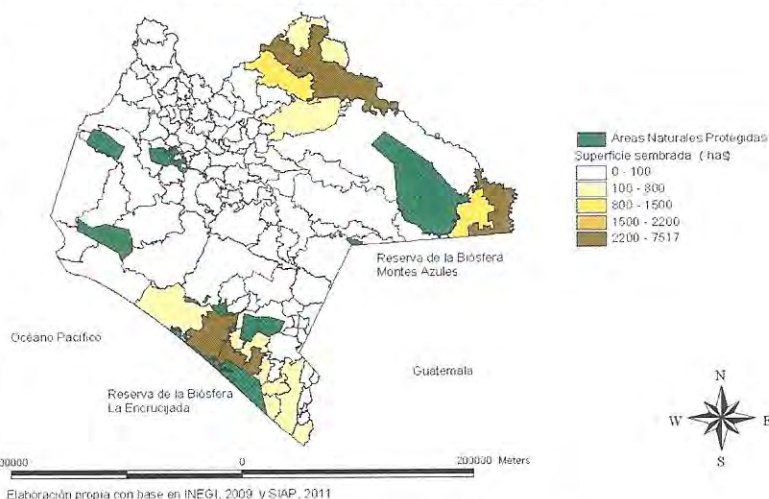
aquellos cultivos más rentables. La apuesta tiene como antecedente dos grandes impulsos de reconversión productiva fallidos en la región, primero con el plátano y luego con el café, ambos instalaron economías primario-exportadoras y desplazaron la producción de alimentos básicos.

Con la palma la historia parece repetirse pues hasta el momento si bien se han registrando ligeros aumentos en los ingresos de los productores mientras los precios del aceite de palma se mantengan estables o a la alza y siempre y cuando los precios de los insumos no aumenten (sobre todo de los agroquímicos).

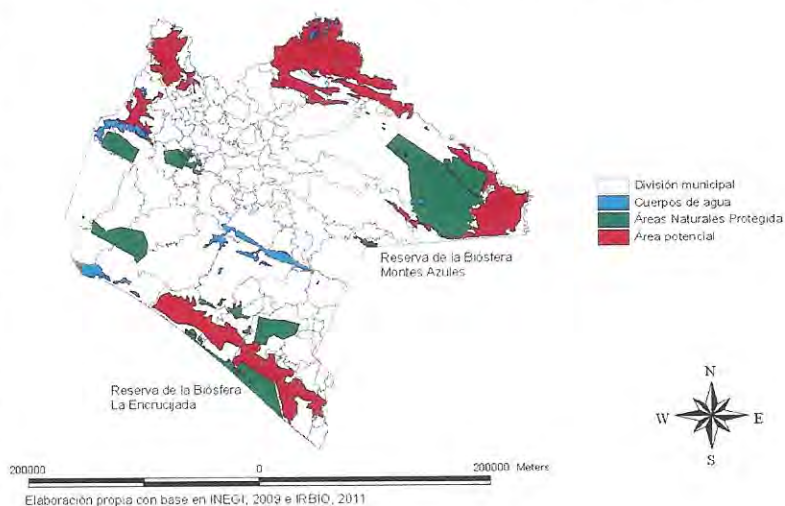
Pese a todo, el grueso de ganancias son acaparadas hasta la fecha por la cadena productiva de la transformación del fruto y no en el productor del insumo (léase: De Diego, 2011). Aún más, los costos ambientales de mediano y largo plazo prometen poner límites a los limitados beneficios de los finqueros de palma que no cuentan con toda una integración vertical del proceso productivo de etanol. Debe advertirse en este sentido, la posibilidad del cambio de uso de suelo, de la cobertura vegetal, de importantes extensiones de tierra; y es que los cultivos de la palma ya comienzan a

Figura 14.

Superposición de Áreas Naturales Protegidas federales y municipios productores de palma de aceite



Área potencial para el cultivo de palma de aceite, áreas naturales protegidas y cuerpos de agua en el estado de Chiapas



rodear las zonas de áreas naturales protegidas. Véase Figura 14. No sobra precisar que el cambio de uso de suelo en esa zona, al ser tropical, sin duda representaría una liberación de carbono del suelo mucho mayor que la eventualmente reducida por el uso del biodiesel ahí producido (se siguen las advertencias de Searchinger et al, 2008 y Fargione et al, 2008).

4.2.1 Proyectos comerciales de palma identificados

El programa de reconversión que es dirigido desde el Instituto para la Reconversión Productiva y Bioenergéticos (IRBIO), órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría del Campo, visualiza que el cultivo de palma es estratégico en tanto que busca coadyuvar a disminuir la dependencia de aceites vegetales que experimenta el país²⁴, al tiempo que permite incursionar en la producción de biodiesel para ser utilizado por el sector transporte del país, comenzando por el servicio público de Tuxtla Gutiérrez y Tapachula, el *Conejobus* y el *Tapachulteco* respectivamente, así como para la fabricación de bioturbosina para ser utilizada en vuelos nacionales, e incluso, internacionales.

Tabla 9. Proyectos para la producción de biodiesel en México					
<i>Estado del proyecto</i>	<i>Desarrollador</i>	<i>Localización</i>	<i>Hectáreas cultivadas (actuales o potenciales)</i>	<i>Cantidad producida</i>	<i>Destino</i>
Pendientes proyecto y plan de negocios	Instituto Veracruzano de Bioenergéticos	Veracruz: 17 municipios al sur de la entidad.	6,426.50 actuales. Potencial de 20 mil	N/D	Nacional: Bioturbosina para vuelos nacionales e internacionales.
En operación	Instituto para la Reconversión Productiva y Bioenergéticos	Chiapas: 23 municipios. Regiones: Selva, Soconusco, Istmo-Costa.	33,500.48 Potencial de 100 mil	28 mil litros diarios	Nacional: Biodiesel como combustible en transporte público: Tapachulteco y Conejobus. Bioturbosina para vuelos nacionales e internacionales.

Fuente: elaboración propia con base en IRBIO (www.irbio.chiapas.gob.mx).

Ahora bien, en lo que respecta al caso del estado de Veracruz, el gobierno estatal conformó el Instituto Veracruzano de Bioenergéticos cuyo objetivo central es hacer de esta entidad un referente en la producción de biocombustibles, especial pero no únicamente, biodiesel a partir del aceite de la palma aceitera. En este sentido, ya existen al menos 17 municipios

²⁴ México se ubica en los treinta primeros de entre 171 países importadores de aceites (Castro, 2009). La misma agroindustria está interesada en revertir esta situación y apoyan el fomento de la producción doméstica de este aceite. Sabritas, Nestlé, Gamesa y Bimbo son ejemplos de empresas que utilizan este insumo para la fabricación de sus productos.

ubicados al sur, que albergan las 6,426.50 hectáreas sembradas con palma, pero se precisa la posibilidad de ampliarlas a unas 20 mil hectáreas. La iniciativa al parecer a principios de 2012 seguía en marcha.

Al igual que el proyecto del estado de Chiapas, se contempla la posibilidad de producir bioturbosina, un rubro de negocio prometedor en tanto que ya son dos las aerolíneas que han utilizado biocombustible hecho en Chiapas a base de aceite de palma y de jatropha. En concreto la empresa Interjet, mediante un Airbus 320 que ha llamado “Ecojet”, realizó el primer vuelo con biocombustibles en el país, cubriendo la ruta desde el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México al de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Este vuelo de demostración de un avión comercial fue impulsado con bioturbosina, compuesta de 27 por ciento biocombustible y 73 por ciento de energético convencional (Sin autor, 2011). Aeroméxico, por su parte, realizó el primer vuelo transoceánico entre la capital mexicana y Madrid en un Boeing 777 propulsado en un 30 por ciento con biocombustible. En concreto, el aparato fue cargado con 20 toneladas de biocombustible, procedente de jatropha, con 55 de queroseno (EFE, 2011). Adicionalmente, la aerolínea ha iniciado recientemente su programa de “vuelos verdes” con la ruta Ciudad de México- San José, Costa Rica. Este vuelo será operado con un equipo Boeing 737 de nueva generación, que utilizará una mezcla de 75 por ciento de combustible convencional y 25 por ciento de bioqueroseno parafínico sintético (Bio-KPS) (Notimex, 2011).

4.2.2 Breve acercamiento al proceso de producción de biodiesel base palma

La producción de biodiesel tiene tres grandes etapas: el cultivo de la palma de aceite; la producción de aceite crudo; y la transesterificación de éste a biodiesel con glicerina como coproducto.

La primera etapa comienza en los pre-viveros y viveros en donde se siembran las semillas y se cuida el proceso de germinación y crecimiento de la planta durante los primeros dos meses. Ya en el vivero la plántula dura aproximadamente ocho meses y requiere múltiples cuidados, generalmente tecnificados. Luego de hacer una selección y descartar las plantas anormales, se procede con la siembra en parcela (Hernández, *et. al*, 2006: 1).

Las plantaciones de palma africana en Chiapas incluyen, generalmente, 143 plantas por hectárea manteniendo una distancia de 9 metros entre plantas y 1.8 metros entre las hileras de palma. Éstas deben ser sembradas en tresbolillo (Castro, 2009), es decir, colocar las plantas de modo que ocupen los vértices de un triángulo equilátero. Una parcela con estas características puede rendir aproximadamente de 15 a 20 toneladas de racimos de fruta fresca por hectárea y por año, lo que equivaldría de 2 a 4 toneladas de aceite y de 600 a 800 kilogramos de almendras por hectárea al año (Olivera, *et. al*, 2006: 6; Pimentel, 2009).

Para alcanzar y/o superar estos estándares la palma de aceite requiere, por un lado, de cantidades abundantes de agua. De hecho, cada planta necesita 2,000 mm de agua al año (Olivera, 2007) lo que significa que una sola hectárea de esta oleaginosa consume anualmente 286 mil mm de agua. Evidentemente, el consumo de este líquido varía según el tamaño de las parcelas y si éstas son de temporal o de riego. En Chiapas pocos son los ejidatarios que tienen acceso a un sistema de riego debido a que se requiere de una gran inversión. Los productores que cuentan con el capital necesario son los menos.

Por otro lado, los nutrientes, sobre todo nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio son fundamentales. La palma debe ser fertilizada dos veces al año para conseguir una planta sana que produzca frutos con grandes cantidades de aceite. En la Tabla 10 se observan, entre otros insumos y desechos asociados a la producción de biodiesel base palma, las cantidades específicas de estos nutrientes que recomienda el Consejo Mexicano para el Desarrollo de la Palma de Aceite (Comexpalma, 2010).

El fertilizante químico que se aplica en muchas de las parcelas en Chiapas es el Triple 17 que recibe su nombre porque contiene 17% de nitrógeno, 17% de potasio y 17% de fósforo. Con este insumo se debe aplicar media tonelada por hectárea. Son precisamente las empresas extractoras de aceite -que le compran toda la producción a los palmeros- las más interesadas en recibir un producto de alto rendimiento y quienes, por lo tanto, promueven la fertilización. Coincidentemente son, a su vez, las vendedoras de los insumos a los palmicultores. Así, por ejemplo Agroimsa otorga una serie de créditos a los productores en los cuales cada uno de ellos debe pagar 5,365 pesos por tonelada de Triple 17, preferiblemente dos veces al año.

La administración de insumos se completa con el uso de plaguicidas y rodenticidas en tanto que la palma de aceite es susceptible a diversas plagas entre las que destacan: gusano

cabrito, gusano túnel (*Stenoma cecropia* M.), picudo de la palma o picudo negro (*Rhynchophorus palmarum*), hormigas, ratas y tusas entre otras. Igualmente, hay que realizar una constante labor de control de las llamadas “malas hierbas”, es decir, aquellas especies que por sus características compitan con la palma de aceite, tanto en la calle (entre las hileras de palma) como alrededor del árbol (Quesada, s/f). Justamente, la tercera parte del costo de establecer una hectárea de palma se va tanto en herbicidas como en control de plagas y rodenticidas (Castro, 2009; Pineda, 2009: 25).

La cosecha de racimos es una de las actividades más importantes en las plantaciones de palma de aceite y, como cultivo perene, se realiza durante todo el año. En general, los ciclos de cosecha oscilan de 7 a 15 días en palmas jóvenes y de 9 a 15 días en plantas adultas, sin embargo, en época de lluvia los ciclos son más frecuentes que en épocas de sequía. Esta actividad es la que demanda mayor mano de obra e inversión y define los ingresos por ventas en la parcela (Olivera, 2007: 4).

El costo de cosecha es alto por el salario de mano de obra y el costo del transporte de los frutos a las plantas extractoras y que es otro de los factores que afectan los costos de producción, llegando a representar cerca del 40% del precio final (Plan Rector, 2004: 31).

Cuando las parcelas son de tamaño reducido, muchos productores recolectan los racimos por medio de carretillas. Tienen la ventaja de que requieren una baja inversión y que no compactan la tierra y son recomendables para racimos pequeños (Olivera, *et. al*, 2006: 24, 27). Los productores que poseen palmares de más de veinte hectáreas suelen tener animales, ya sea mulas o bueyes que tienen la finalidad de jalar pequeñas carretas de un eje con capacidad de hasta media tonelada, o bien de dos ejes con capacidad de una tonelada.

Ya sea con la carreta o con la carretilla, los palmeros y sus trabajadores van recorriendo el palmar “acarreando” los racimos de fruta hasta terminar de cosecharlos. La ventaja es que, al usar estos pequeños medios de transporte, los palmeros requieren una menor mano de obra al tiempo que abren la posibilidad de cubrir mayores distancias; la desventaja es el mantenimiento del animal y que pueden compactar relativamente los suelos (Olivera, *et. al*, 2006: 24).

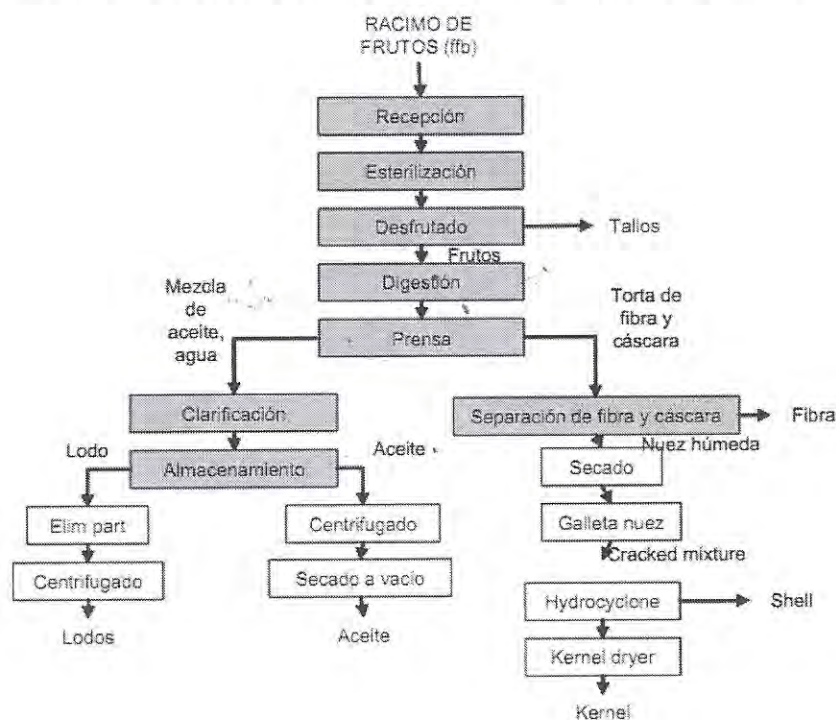
Una vez terminada la recolección es necesario transportar los racimos de fruta a las plantas extractoras de aceite y debe hacerse de manera inmediata pues la fruta se echa a perder muy rápido y queda inutilizable.

En Chiapas, algunos palmeros cuentan con un medio de transporte propio, el cual generalmente es una pequeña camioneta tipo pick-up adaptada para poder cargar la mayor cantidad posible de racimos. En caso de que el palmero no cuente con un medio de transporte propio para trasladar su cosecha, puede recurrir a los fleteros quienes llevan en su vehículo los racimos de fruta hasta la planta extractora pidiendo a cambio de entre 80 y 100 pesos por tonelada.²⁵ O bien, puede acudir a una “reciba” o centro de acopio, ya sea fija o móvil, de cualquiera de las empresas. Estos espacios son de tamaño reducido: cuentan con una pequeña oficina, una pesa y el espacio necesario para el paso de las camionetas o carretas así como para estacionar un camión de carga tipo torton, generalmente propiedad de la empresa, en donde se van depositando los racimos de fruta fresca para luego ser llevados a la planta extractora. Este sistema facilita al palmero el transporte de su fruta a la planta extractora que se encuentra lejos de su palmar. Sin embargo, el precio que se les paga es menor porque se incluye el costo del flete.

Las tecnologías para la producción de este biocombustible se basan, en primer lugar, en la extirpación del aceite contenido en las semillas vegetales, ya sea por medio del prensado mecánico o mediante la extracción química a través de solventes. (INE, SEMARNAT, CIECO-UNAM, 2008:42). La industria del aceite de palma está compuesta tanto por plantas extractoras como refinadoras. Las primeras deben estar localizadas en las regiones productoras puesto que dadas las características físico-químicas del fruto, éste debe procesarse en un lapso muy corto de tiempo después de ser cosechado (máximo de 48 horas) (Sagarpa, 2010C; Aníame, 2006). Las refinadoras pueden emplazarse incluso a miles de kilómetros, tal y como sucede con las importaciones de aceite crudo de Alemania, procedente de Asia, que luego ese país refina domésticamente.

²⁵ Entrevista con el Ing. Amílcar Fernández Archila, coordinador a nivel estatal del proyecto de producción de palma africana del IRBIO en el estado de Chiapas. Entrevista realizada en marzo de 2011, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Figura 15. Diagrama de flujo de un sistema básico para la extracción de aceite



Fuente: INE, SEMARNAT, CIECO-UNAM, 2008

La segunda etapa comienza entonces con la recepción del fruto, mismo que es esterilizado por medio del uso de tanques horizontales a una presión de 3 kg/cm^2 a 143°C de temperatura por 60 minutos. Con la esterilización se busca evitar que los ácidos grasos libres en el aceite se incrementen a causa de reacciones enzimáticas, así como para preparar al pericarpio para los siguientes procesos. Después se separa el fruto e inmediatamente se pasa al proceso de digestión que consiste en calentar las frutas esterilizadas a una temperatura de entre 95° y 100° centígrados durante veinte minutos para facilitar el retiro de la cáscara y la ruptura de la semilla. Es hasta este punto en que efectivamente se puede realizar entonces la extracción del aceite por método de prensado. El primer resultado es, además de una torta de fibra y cáscara con aceite residual, una mezcla líquida cuya composición es 66% de aceite, 24% de agua y 10% de sólidos no aceitosos. Dicha mezcla se clarifica agregando agua al aceite con la finalidad de asentar los residuos sólidos. La mezcla se filtra para remover materiales sólidos y se envía a un tanque de asentamiento para separar el aceite del agua. Luego, el aceite pasa por un purificador centrífugo, un

secador a vacío y un enfriador para finalmente ser almacenado en tanques que deben mantener una temperatura entre 32 y 40°. Para el proceso detallado, véase la Figura 15. A partir de este punto, el aceite primario sigue su camino hacia el proceso de producción estándar del biodiesel o tercera etapa.

Tabla 10.		
Fase Agrícola		
Rendimiento: 17.5 ton / ha ^a		
Agua ^{b*}	286 mil mm/ha/año ^b 2,590,7 litros/litro de biódiesel*	Datos para Tailandia precisan 1,100 – 1,400 m ³ por tonelada de fruta ^c
Nutrientes ^c	Nitrógeno: 4.56 kg por tonelada de fruta /ha/año	Datos para Tailandia indican un uso de 44 – 50 kg por tonelada de fruta ^c
	Fósforo: 0.588 kg por tonelada de fruta /ha/año	Datos para Tailandia indican un uso de 12 – 14 kg por tonelada de fruta ^c
	Potasio: 5.96 kg por tonelada de fruta /ha/año	Datos para Tailandia indican un uso de 31 – 35 kg por tonelada de fruta ^c
	Magnesio: 1.29 kg por tonelada de fruta /ha/año	Datos para Tailandia indican un uso de 8 – 9 kg por tonelada de fruta ^c
	Calcio: 1.332 kg por tonelada de fruta /ha/año	Datos para Tailandia indican un uso de 0.5 – 1 kg por tonelada de fruta ^c
Herbicidas ^d	250 gr / 1,000 litros de aceite	Datos para Tailandia indican un uso de 0.2 - 0.4 kg de glifosfato y 0.1 – 0.2 kg de paraquat (gramoxone) por tonelada de fruta ^c
Insecticidas ^d	500 gr / 1,000 litros de aceite	
Diesel ^d	32.5 litros / 1,000 litros de aceite	1/3 de litro por tonelada de fruta ^c
Fase Industrial (5.26 – 6.25 toneladas de fruta por tonelada de aceite crudo) ^e		
Electricidad ^d	0.34 KWh/litro de biodiesel	Datos para Tailandia sugieren entre 60 a 100 kWh por tonelada de aceite crudo
Diesel ^e	3-9 litros por tonelada de aceite crudo	
Agua (para calentador) ^e	2.2 – 4.6 m ³ /ton de aceite crudo	
Contaminantes	Particulado: 3.9 – 8.7 kg / ton de aceite crudo	
	NO2: 1.7 – 3.1 kg / ton de aceite crudo	
	CO: 1.4 – 3.8 kg / ton de aceite crudo	
	Kernel: 0.26 – 0.38 ton / ton de aceite crudo	
Otros residuos (algunos denominados como co-productos) ^e	Aguas residuales: 2.6 – 3.3 m ³ / ton de aceite crudo	
	Fibra: 1.4 – 2 ton / ton de aceite crudo	
	Cáscara: 0.26 – 0.44 ton / ton de aceite crudo	
	Pastel decantado: 0.05 – 0.31 ton /ton de aceite crudo	
	Cenizas: 0.02 – 0.06 ton / ton de aceite crudo	
Transterificación (1.14 toneladas de aceite crudo por tonelada de biodiesel + 0.32 toneladas de glicerina) ^e (1,180 litros de biodiesel/ton de aceite ^a)		
Metanol (para transterificación) ^d	200 mil x 1,000 kg de aceite de palma	Datos para Tailandia rondan 0.15 ton de metanol por tonelada de biodiesel.
Hidróxido de sodio ^e	6 – 10 kg / ton de biodiesel	
Agua ^e	0.2 m ³ / ton de biodiesel	
Electricidad	256.5 kWh / ton de biodiesel	
* Estimaciones propias.		
Fuente: elaboración propia con base en a) SENER/BID/GTZ, 2006; b) Olivera, 2007; c) Comexpalma, 2010; d) Pimentel et al. 2008; e) Pleanjai et al, 2007.		

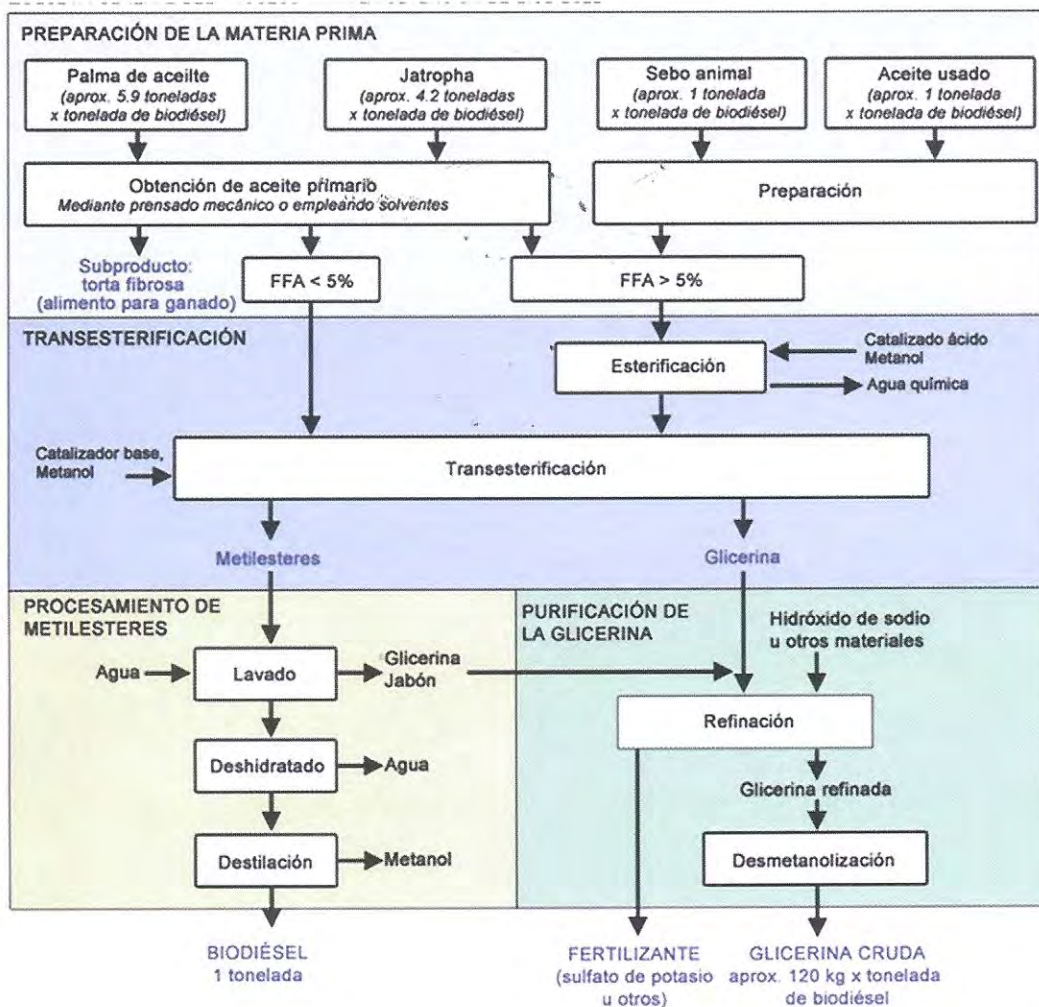
Si bien existen varias tecnologías para la producción de biodiesel, tales como la pirólisis y la microemulsificación, lo más usual es recurrir al proceso de transesterificación²⁶ que puede utilizarse de dos maneras distintas, dependiendo del contenido de ácidos grasos libres (FFA, *free fatty acids*) en el aceite:

- Transesterificación en medio ácido para FFA mayor de 5% (esterificación): Se utiliza como un pretratamiento para transformar los ácidos grasos libres (AGL) presentes en el aceite en metilésteres (biodiesel). Se aplica solamente a las grasas primarias que contienen un alto nivel de AGL como lo son las grasas animales o aceites de reúso, los cuales presentan un nivel variado de éstos en cada lote. Ante dicha situación el control de calidad en la planta de producción es un elemento crítico. Los aceites provenientes de cultivos, por el contrario, casi no tienen variaciones sobre el nivel de dichos ácidos y no requieren de este procedimiento. (SAGARPA, 2010C; Avellaneda; 2010: 60-61). El aceite crudo se calienta y se le agrega metanol para reaccionar con los AGL, utilizando ácido sulfúrico como catalizador. Luego de la reacción, se separa el agua mediante decantación o centrifugación y lo que queda es una mezcla de aceite (triglicéridos) y biodiesel con menos de 1% de ácidos grasos libres. Con esta mezcla ya se puede realizar una transesterificación (Avellaneda; 2010: 61).
- Transesterificación en medio básico para FFA menor de 5 %: Este procedimiento es el que predomina actualmente en la producción comercial de biodiesel mediante el uso de materias primas con bajos contenidos de FFA (SAGARPA, 2010B). Tiene lugar inmediatamente después de la obtención de un aceite base limpio. Para separar los componentes del aceite y obtener biodiesel y glicerina se mezcla de 80 a 90% de aceite vegetal con 10 a 20% de metanol y 0.35% a 1.5% de un agente catalizador (generalmente hidróxido de sodio) a temperatura controlada. (INE, SEMARNAT, CIECO-UNAM, 2008: 43) Al final la glicerina, al ser más pesada, se va al fondo del contenedor en tanto que el diesel flota en la parte superior. Para terminar, el combustible es sometido a un proceso de limpieza y refinación. (SAGARPA, 2010C)

En la mencionada fase de lavado se utiliza agua para retirar del combustible cualquier sustancia que sea soluble al agua, especialmente glicerina. Ésta, a su vez, se somete a un proceso de refinación y desmetanolización, pues se queda con la mayor parte del metanol empleado en la transesterificación. Finalmente, el biodiesel llega a la etapa del deshidratado, en el cual se quita el agua que pudo haberse quedado después del proceso de lavado y se realiza calentando el combustible para hacer que el agua se evapore (SAGARPA, 2010C), véase la Figura 16.

²⁶Se refiere a la reacción entre un aceite o grasa y un alcohol en un medio catalizado, para producir ésteres alquílicos de ácidos grasos (i.e. biodiesel) y glicerol o glicerina. (Zapata *et.al*, 2007: 71)

Figura 16. Esquema general del proceso para la obtención de biodiesel



Fuente: Sagarpa, 2010C.

4.3.3 Implicaciones ambientales del biodiesel de aceite de palma

De modo similar al etanol, la palma africana acarrea problemas ambientales severos pues su siembra bajo esquemas de monocultivo a gran escala tiende ser altamente demandantes de agroquímicos, agua y tierra.

Específicamente en lo que refiere al caso del agua, los cálculos realizados concluyen que la demanda de agua por cantidad de fruto requerido para obtener un litro de biodiesel es de 2,590.7 litros, monto al que se suman unos ~3 litros de agua por litro de biodiesel producido correspondientes a la fase de extracción de aceite crudo (o primario) y al proceso

de transesterificación. Casi la totalidad de la demanda de agua corresponde a la fase del cultivo, cuyo requerimiento [RAC] para el caso de Chiapas, México, se estimó en 12,744.05 m³/ha, tomando en cuenta una evapotranspiración promedio anual en la zona de 3.74 mm/día en un clima subtropical con lluvia de verano. El agua virtual del cultivo de palma en Chiapas en un periodo de diez años se fija en 8,407 m³/ton, siendo el promedio anual de 764.27 m³/ton. Con base en lo anterior, la huella hídrica del cultivo de palma en Chiapas de 2000 a 2010 totaliza 1,743,473,185.66 m³ de agua, siendo el promedio anual de 158,497,562 m³.

Además de la considerable huella hídrica del biodiesel, también se constata una alta demanda de tierra pues en México se requieren aproximadamente de 3.26 m² por litro de biodiesel producido (cada hectárea puede tener un rendimiento promedio de unas 17.5 toneladas de fruto, es decir, 3 toneladas de aceite crudo o 2.6 toneladas de biodiesel). Esto significa que los autobuses del Metrobús de la Ciudad de México, con un rendimiento promedio de 1.28 km/l (Metrobus, 2010), se requerirían 76.5 m² de tierra (para un equivalente de 23.5 litros de biodiesel) para dar una sola vuelta a la Metrobús Corredor Insurgentes (línea1) (30km en ambos sentidos). Considerando que el promedio ponderado de kilómetros en servicio para los autobuses en la Línea 1 por día -basado en 105 autobuses- es de 244.42 km/día, cada autobús demandaría entonces 191 litros de biodiesel cuya demanda de tierra para la producción de palma es de 622m². Así entonces, y conociendo que de 2009 a 2010 la flota de la Línea 1 recorrió 9.36 millones de kilómetros y consumió 7.3 millones de litros de diesel, la demanda de tierra que implicaría su reemplazo con biodiesel sería de 2,384 hectáreas. La intensidad en el uso de tierra, de cara a otras necesidades como la producción de alimentos es pues notoria. La superficie en cuestión sería suficiente para producir casi 4 millones de kilos de tortillas.²⁷

A los costos descritos, debe además sumarse la potencial pérdida de biodiversidad, sobre todo cuando se abren nuevas tierras a partir de desmontar ecosistemas tropicales, tal y como sucede notoriamente en el caso de los principales productores asiáticos donde se registra una tasa anual de deforestación asociada a la palma de 1.5% del total (Fergione, 2008).

²⁷ Se asume una productividad promedio de 2.5 toneladas por hectárea y un factor de conversión de 1.5 kilos de tortilla por kilogramo de maíz.

El resultado, para el caso de Malasia, ha sido la pérdida de cobertura boscosa y selvática a causa de la palma de hasta 87% de la deforestación total entre 1985 y el 2000 (Monbiot, 2005). En Indonesia el ritmo de expansión de las plantaciones de palma se calcula (para el periodo 199 – 2004) en unas 400 mil hectáreas promedio al año, cubriendo ya zonas como el Parque Nacional Tanjung Puting y la reserva natural de Danau Sentarum en Borneo (Westerbeek, 2007). Ambos casos son sin duda alertas tempranas para México donde Chiapas, como ya se precisó, se perfila como foco principal de atención. Lo mismo es aplicable para otros países periféricos que comienzan a incursar en la promoción de la palma como insumo para la producción de biodiesel de exportación.

Lo antes dicho tiene además importantes consecuencias climáticas ya que con la apertura de nuevas zonas de cultivo, a costa de bosques y selvas, se pierden importantes sumideros de carbono. Los cálculos de Fargione et al (2008) consideran que la deuda de carbono de los biocombustibles asociada a la deforestación es entre 17 y 420 veces mayor a la reducciones anuales de GEI que dichos biocombustibles podrían ahorrar. En tal sentido, el pago de tal deuda mediante la producción de biocombustibles en Malasia e Indonesia se lograría sólo después de 86 años para el caso de la palma sembrada en selvas tropicales bajas de esos países, pero hasta después de 420 años cuando se trata de la pérdida de selvas tropicales inundables (Ibid).²⁸

La exclusión de dicha deuda de carbono del grueso de estudios de ciclo de vida, provocada por el cambio de uso de suelo –fenómeno aún no regulado en el marco de las negociaciones del clima- y éste a su vez impulsado tanto por las políticas y estímulos a los biocombustibles como por las dinámicas de mercado, incluyendo la especulación sobre los *commodities*, ha sido considerado -junto con la categorización de los biocombustibles como neutrales en términos de emisiones directas²⁹- como un error de contabilidad de relevancia (Searchinger et al, 2009). Y es que según cálculos de Wise et al (2009), una meta climática de 450ppm podría expandir las áreas de monocultivo al punto que virtualmente desplazaría todos los bosques y sabanas naturales del planeta para el año 2065; un proceso que liberaría

²⁸ Para el caso del Cerrado Brasileño, se estima que el biodiesel producido con soya requiere 37 años para pagar la deuda de carbono por deforestación mientras que el etanol de caña unos 17 años; no obstante, la producción de biodiesel (base soya) en previas zonas de cobertura de selva amazónica, tardaría en pagar su dicha deuda en 840 años (Fargione et al, 2008).

²⁹ Se asume que las emisiones generadas por la quema de biocombustibles no cuenta en tanto que ese carbono fue previamente capturado por la biomasa.

unas 37 gigatoneladas de CO₂ al año. De modo similar, se ha precisado que tomando en cuenta sólo las mencionadas dinámicas económicas, que tienden a favorecer la conversión a gran escala de tierras para la producción de biocombustibles, el proceso de deforestación podría alcanzar un 59% de la cobertura forestal natural actual del planeta, emitiéndose con ello nueve gigatoneladas de CO₂ al año (Melillo et al, 2009). Es por ello que Searchinger et al (2009) sostienen adecuadamente que: "...en cualquier sistema de créditos [de emisiones], los créditos deben reflejar los cambios netos en los stocks de carbono, en las emisiones de gases de efecto invernadero distintos al CO₂, y en las emisiones que se derivan de los cambios de uso de suelo para reemplazar cultivos alimenticios o recursos madereros para la producción de bioenergía".

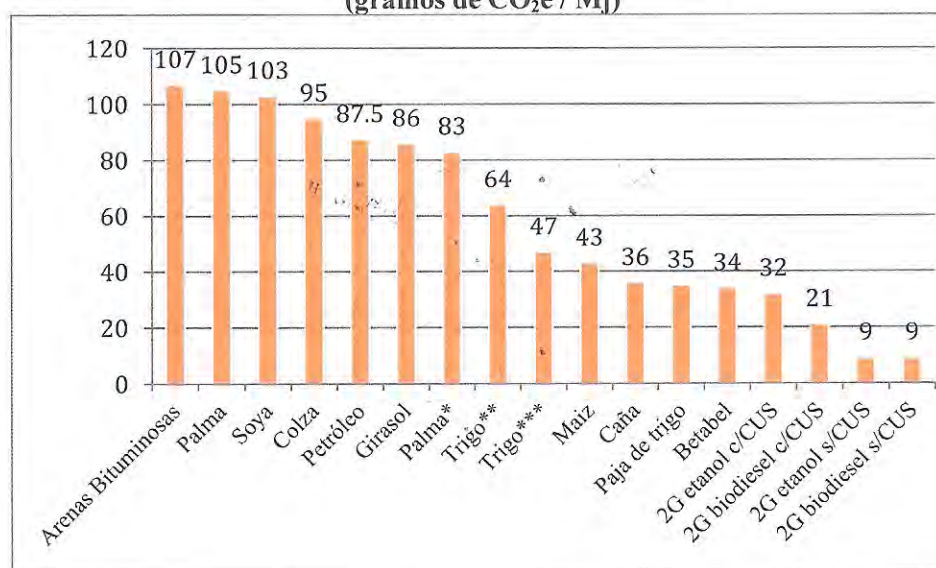
Las recientes estimaciones de la Unión Europea (UE) filtradas por EurActiv (2012) no son positivas para el grueso de biocombustibles de primera generación pues al considerar en el análisis de ciclo de vida el cambio de uso de suelo, el biodiesel de palma, soya y canola o colza, resultan ser más contaminantes que el petróleo crudo (véase figura 17)³⁰.

Con la normativa de certificación de biocombustibles de la UE, que exige que las emisiones directas e indirectas de carbono de los biocombustibles sean al menos 35% por debajo de las atribuibles al petróleo, los insumos de mayor peso en la producción mundial actual de biocombustibles quedan, en principio, fuera de toda consideración. Lo llamativo, para el caso de la palma, es que tampoco se cumple con el requisito de la Agencia de Protección Ambiental de EUA y que establece un ahorro de 20% en las emisiones directas e indirectas de carbono con respecto a las del diesel de origen fósil (EPA, 2012).

No sorprende entonces que tradicionalmente la industria del aceite de palma se oponga a cualquier esfuerzo que busque incluir el cambio de uso de suelo en las estimaciones de emisiones del sector al argumentar que se trata de meras medidas proteccionistas.

³⁰ Los datos que se presentan en la figura 17 asumen datos basados sobre la base de diversas publicaciones científicas, muchas de las cuales para el caso de los biocombustibles de segunda generación son producto de estudios preliminares o piloto, de ahí que para esos casos, los números deben tomarse con cierta reserva.

Figura 17. Emisiones de CO2 directas e indirectas de los biocombustibles (gramos de CO₂e / Mj)



* c/ captura de metano

** combustible empleado en el proceso no especificado

*** gas natural como combustible empleado en el proceso de cogeneración de energía y calor

CUS: cambio de uso de suelo.

Fuente: con base en EurActiv, 2012.

5. Implicaciones del uso de biocombustibles en el sector transporte en México.

En México el consumo de combustibles líquidos ha sido creciente (véase Tabla 12) y las expectativas al 2025 según la SENER (2010) dibujan un incremento en el mismo de 57% en las gasolinas y 43% en el diesel.

Tabla 12. Consumo nacional de combustibles (2000-2010)											
miles de barriles/día											
Combustible	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Gasolinas	532.7	551.8	566.2	601.2	636.7	672.1	718.9	760.9	792.6	792.4	802.2
Magna	472.3	476.5	476.5	500.2	525.5	559.6	601.8	658.9	706.2	727.7	743.7
Premium	58.9	73.9	88.5	100.1	110.4	117.7	116.3	101.3	85.7	64.1	57.8
Diesel	284.7	275.8	270.7	294.7	302.7	320.1	344.9	358.4	382.0	359.0	371.1
Turbosina	55.5	55.3	53.3	54.2	57.8	58.7	61.2	67.9	65.0	55.0	55.8

Fuente: PEMEX, 2011: 43.

Las implicaciones del uso de etanol de caña, dígame en términos de su viabilidad medioambiental, se presentan con relación a las capacidades de producción nacionales (considerando disponibilidad de tierra y demanda de agua) y a las emisiones directas e

indirectas asociadas. La tabla 13 ofrece una valoración para el escenario actual o base, mientras que la tabla 14 estima tales implicaciones para el 2025. En ambos casos se analizan mezclas E5, E10 y E20 para los consumos actuales a nivel nacional y en las tres principales zonas metropolitanas del país: la de Monterrey, Guadalajara y del Valle de México.

Tabla 13.								
Estimaciones de impactos ambientales del uso de etanol base caña en México con base en el consumo actual de combustibles.								
(nacional y para las tres principales ciudades)								
	<i>Demanda de gasolinas en 2010 (miles de barriles día)</i>	<i>Emisiones directas e indirectas de la quema de combustible fósil (millones de toneladas) - 87.5 gr CO₂e/MJ (EurActiv, 2012); 35 MJ/litro</i>	<i>Etanol requerido según distintas mezclas (miles de barriles día)</i>	<i>Cosecha anual requerida - toneladas (75 l. de etanol/t)</i>	<i>Superficie Requerida en hectáreas (rendimiento promedio de 2000-2010 = 75.93 ton/ha)</i>	<i>Huella Hídrica en Giga litros (con base en Gerbens-Leenen et al, 2009: 2,516 litro litro de etanol)</i>	<i>Huella Hídrica en Giga litros (con base en estimaciones propias para el Estado de Veracruz — 2,735 litro litro de etanol)</i>	<i>Emisiones directas e indirectas de la mezcla - 36 gr CO₂e/MJ (EurActiv, 2012); 23.4 MJ/litro</i>
Nacional	802 [*] - 810 ⁺	142.54 [*] - 143.96 ⁺	E5: ~40	30,952,000	407,638.6	5,840.64	6,349	137.38 (135.43 [*] + 1.95)
			E10: ~80.5	62,290,900	815,277.2 (balance negativo de 80,458 ha)	11,754.29	12,777	132.16 (128.23 [*] + 3.93)
			E20: ~161	124,581,800	1,630,554 (balance negativo de 895,735 ha)	23,508.58	25,554	121.79 (113.92 [*] + 7.87)
Zona Metropolitana de Guadalajara	47.4 ⁺	8.42	E5: 2.37	1,833,906	24,152.5	346.05	376.1	8.11 (8 + 0.11)
			E10: 4.74	3,667,812	48,305.1	692.11	752.3	7.81 (7.58 + 0.23)
			E20: 9.48	7,335,624	96,610.3	1,384.23	1,504.7	7.16 (6.7 + 0.46)
Zona Metropolitana de Monterrey	31.7 ⁺	5.63	E5: 1.58	1,226,473	16,152.6	231.43	250.7	5.42 (5.35 + 0.07)
			E10: 3.17	2,452,946	32,305.3	462.87	503.1	5.22 (5.07 + 0.15)
			E20: 6.34	4,905,892	64,610.7	925.74	1,006.3	4.82 (4.51 + 0.31)
Zona Metropolitana del Valle de México (~103 del DF)	132 ⁺	23.46	E5: 6.66	5,157,377	67,922.7	972.46	1,058	22.59 (22.27 + 0.32)
			E10: 13.2	10,214,160	134,520.7	1,927.41	2,095.1	21.75 (21.11 + 0.64)
			E20: 26.4	20,428,320	269,041.4	3,854.82	4,190.3	20.05 (18.76 + 1.29)
NOTA: 1 barril = 159 litros. + SENER, 2010 * PEMEX, 2011								
Fuente: elaboración propia								

Debe notarse que la superficie total cultivada en México ronda los 25 millones de hectáreas por lo que hoy día de quererse implementar a nivel nacional una mezcla E10 significaría

destinar el 3.2% de la tierra cultivable sólo a caña de azúcar. Las proyecciones a 2025, asumiendo un aumento en el rendimiento de los cultivos del orden del 32%, la misma mezcla requeriría el 3.9% de la superficie cultivable si asumimos que la frontera agrícola no se extiende. Ahora bien, considerando las características del cultivo, las estimaciones sobre el potencial cultivable limitan la superficie a no más de 2.9 millones de hectáreas de las cuales sólo 1.2 pueden ser de riego. Considerando que el rendimiento en cultivos de temporal se ubica en torno a las 60 – 65 toneladas por hectárea, sembrar 1.7 millones de hectáreas de temporal cubriría en 2025 una mezcla máxima de E11 (véase Tabla 14). Por el contrario, la siembra de 1.2 millones de hectáreas con sistemas de riego, que bien podrían alcanzar eventualmente rendimientos de 100 toneladas por hectárea, serían suficientes para una mezcla de E12. Ello significa que la totalidad del potencial cultivable de caña en el país a penas lograría desplazar el 23% de las gasolinas demandadas para ese año, ello sin considerar la energía que la siembra y la transformación a etanol requeriría.

En lo que respecta a las proyecciones de consumo de gasolina de la ZMVM, debe advertirse que según la SENER (2010), el aumento no será importante pese a que a nivel nacional ése ronde el 55%. Asumiendo tal dato como correcto, debe advertirse que el consumo de combustible en la ZMVM con una mezcla E20 requeriría entonces de una superficie sembrada de aproximadamente el 44% de la superficie territorial de dicho asentamiento urbano si es que aumentan los rendimientos por hectárea pues de conservarse igual, dicha superficie sería el equivalente al 58%.

En lo que respecta al agua, el costo es claramente alto. Basta precisar que la disponibilidad natural de agua en la ZMVM asciende a unos 4,224 giga-litros, lo que significa que con tal cantidad de agua a penas se cubriría una mezcla E20 hoy día pero se quedaría ligeramente corta (en 5%) para esa misma mezcla en 2025. Dicho de otro modo, para cubrir el la quinta parte del consumo de gasolina de la ZMVM con etanol, base caña, se requeriría invertir alrededor de la mitad de la superficie territorial y toda la disponibilidad natural de agua de esa misma área. Desde luego el argumento anterior es meramente para propósitos comparativos de las dimensiones de demanda de agua en tanto que los impactos concretos se darán en las zonas productoras de caña donde bien se podrían dar o intensificar disputas por el uso del suelo y del líquido.

Tabla 14.								
Estimaciones de impactos ambientales del uso de etanol base caña en México a 2025. (nacional y para las tres principales ciudades)								
	<i>Demanda de gasolinas en 2025 (miles de barriles día)</i>	<i>Emisiones directas e indirectas de la quema de combustible fósil (millones de toneladas) - 87.5 gr CO₂e/MJ (EurActiv, 2012); 35 MJ/litro)</i>	<i>Etanol requerido según distintas mezclas (miles de barriles día)</i>	<i>Cosecha anual requerida - toneladas (75 l. De etanol/t)</i>	<i>Superficie Requerida (con base en rendimientos esperados de 100 ton/ha)</i>	<i>Huella Hídrica en Giga litros (con base en Gerbens-Leenes et al, 2009: 2,516 litro litro)</i>	<i>Huella Hídrica en Giga litros (con base en estimaciones propias para el Estado de Veracruz – 2,735 litro litro de etanol)</i>	<i>Emisiones directas e indirectas de la mezcla - 36 gr CO₂e/MJ (EurActiv, 2012); 23.4 MJ/litro</i>
Nacional	1,260 ⁺	223.94	E5: 63	48,749,400	487,494	9,199.01	9,999.7	215.77 (212.7 + 3.07)
			E10: 126	97,498,800	974,988	18,398.02	19,999.4	207.65 (201.5 + 6.15)
			E20: 252	194,997,600	1,949,976	36,796.04	39,998.8	191.41 (179.1 + 12.3)
Zona Metropolitana de Guadalajara	80.4 (73.2 magna y 7.2 premium) ⁺	14.28	E5: 4	3,095,200	30,952	584.06	634.9	13.76 (13.57 + 0.19)
			E10: 8	6,190,400	61,904	1,168.12	1,269.8	13.25 (12.86 + 0.39)
			E20: 16	12,380,800	123,808	2,336.25	2,539.6	12.22 (11.44 + 0.78)
Zona Metropolitana de Monterrey	40 (35.2 magna y 4.8 premium) ⁺	7.1	E5: 2	1,547,600	15,476	292.03	317	7.72 (6.75 + 0.97)
			E10: 4	3,095,200	30,952	584.06	634.9	6.58 (6.39 + 0.19)
			E20: 8	6,190,400	61,904	1,168.12	1,269.8	6.07 (5.68 + 0.39)
Zona Metropolitana del Valle de México	140.5 (130.7 magna y 9.8 premium) ⁺	24.97	E5: 7	5,416,600	54,166	1,022.11	1,111	24.06 (23.72 + 0.34)
			E10: 14	10,833,200	108,332	2,044.22	2,222.1	23.16 (22.48 + 0.68)
			E20: 28	21,666,400	216,664	4,088.44	4,444.3	21.35 (19.99 + 1.36)
NOTA: 1 barril = 159 litros. + SENER, 2010.								
Fuente: elaboración propia.								

A continuación la Tabla 15 presenta el análisis para el caso de las implicaciones del uso de biodiesel de palma con base en los consumos actuales del combustible a nivel nacional (escenario base) y para la ZMVM, y suponiendo mezclas B5, B10 y B20. La Tabla 16 precisa las potenciales implicaciones para el 2025.

Tabla 15.

Estimaciones de impactos ambientales del uso de diesel base palma aceitera en México con base en el consumo actual de combustibles.

(nacional y para las tres principales ciudades)

(nacional y para las tres principales ciudades)							
	Demanda de diesel en 2010 (miles de barriles/día)	Emisiones directas e indirectas de la quema de combustible fósil (millones de toneladas) - 87.5 gr CO ₂ /MJ (EurActiv, 2012); energía disponible de 36.4 MJ/litro	Diesel requerido según distintas mezclas (miles de barriles/día)	Cosecha anual requerida - toneladas de fruta (con base en rendimiento promedio de Chiapas - 1,180 litros diesel/ton de aceite; 5.83 ton fruta / ton de aceite)**	Superficie Requerida en hectáreas (rendimiento promedio de 2000-2010 = 17.5 ton/ha)	Huella Hídrica en Giga litros (con base en estimaciones propias para el Estado de Chiapas = 2,594 litros/litro)	Emisiones directas e indirectas de la mezcla (millones de toneladas) - 105 gr CO ₂ /MJ (EurActiv, 2012); energía disponible de 34.5 MJ/litro
Nacional	371.1* (311.6 autotransporte ⁺)	68.59	B5: 18.55 (15.58 autotransporte)	5,318,883.14	303,936.17	2,792.56	69.05 (65.16 + 3.89)
			B10: 37.11 (31.16 autotransporte)	10,640,633.64	608,036.2	5,586.64	69.53 (61.73 + 7.8)
			B20: 74.22 (62.32 autotransporte)	21,281,267.28	1,216,072.4	11,173.28	70.47 (54.87 + 15.6)
Zona Metropolitana del Valle de México	26.4 ⁺ (22.16 autotransporte [estimado] - 2009)	4.69	B5: 1.32 (1.1 autotransporte)	378,486.56	21,627.8	198.7	4.9 (4.63 + 0.27)
			B10: 2.64 (2.21 autotransporte)	756,973.12	43,255.6	397.43	4.94 (4.39 + 0.55)
			B20: 5.28 (4.43 autotransporte)	1,513,946.25	86,511.21	794.86	5.01 (3.90 + 1.11)
NOTA: 1 barril = 159 litros. + SENER, 2010 * PEMEX, 2011 ** SENER/BID/GTZ, 2006							
Fuente: elaboración propia.							

Fuente: elaboración propia.

Si la producción actual de palma a nivel nacional se destinara por completo a la producción de biodiesel (anulando consecuentemente todo consumo por parte de la industria alimentaria), ésa alcanzaría para cubrir una mezcla B11 únicamente para la ZMVM pues a nivel nacional no representaría ni siquiera el 1% de la mezcla. Para lograr una mezcla B5 para todo el país, se necesitaría aumentar la extensión del cultivo de palma seis veces, agudizando con ello la demanda de tierra y agua. En el caso de la última, el requerimiento de una mezcla B7 a nivel nacional sería equivalente a la disponibilidad natural del líquido de toda la ZMVM.

Dado que el aumento en el consumo de diesel (y gasolinas) para el caso de la ZMVM es limitado con respecto al resto del país, el comportamiento del consumo a nivel nacional al

2025 es mejor indicador para propósitos de evaluación de los impactos de una eventual promoción del uso extensivo de biodiesel en el país. Como se indica en la Tabla 16, el incremento en el consumo de diesel se calcula en 44% por lo que la demanda de biodiesel se incrementa en ese orden de magnitud. Dado que el rendimiento por hectárea actual del país es bajo, se estima que ése se duplica, alcanzando estándares como los de los principales países productores de palma de Asia, razón por la cual mientras la huella hídrica sigue comparativamente en aumento, la superficie territorial inclusive se reduce prácticamente en una tercera parte. No obstante, si en tal escenario los rendimientos no se alcanzan, la demanda de tierra aumentaría, ciertamente encontrando límites importantes de cara a otros usos del suelo, incluyendo aquellos de conservación o de equilibrio ecológico, tal y como ha sucedido en los países productores de palma más relevantes a nivel internacional, una situación que ya ha sido antes descrita. Así, para una mezcla B20 para todo el país, la superficie requerida sería la equivalente a la del estado de Tlaxcala y Morelos, pero, si el rendimiento por hectárea se mantiene sin cambio alguno, la superficie se duplicaría, es decir el equivalente a Querétaro, Morelos y el Distrito Federal. Si los datos filtrados por la Unión Europea (EurActiv, 2012) son correctos, el ahorro de emisiones sería inexistente y, por el contrario, se aportarían más contaminantes conforme la mezcla sea mayor.

Los datos presentados concluyen entonces que la apuesta por el uso de biocombustibles en el país con base en tecnologías de primera generación es, en el mejor de los casos, en extremo limitada, esencialmente debido al uso intensivo de tierra y agua. El eventual ahorro de emisiones (sólo para el caso del etanol, pues en el caso del biodiesel resultaría lo contrario) no parece por sí mismo ser un punto que justifique a cabalidad tal apuesta. Tampoco lo es la supuesta reactivación del campo mexicano pues se trata de una medida mal enfocada. Ello no sólo debido a los tipos de insumos que se requieren para la producción de biocombustibles y que se distancian de cualquier intento por garantizar la seguridad alimentaria en un contexto de cambio climático, sino también por la modalidad agroindustrial de los cultivos que, lejos de favorecer al campesinado, tienden a beneficiar al gran productor quien controla grandes extensiones de tierra y de los usos del agua.

Tabla 16.

Estimaciones de impactos ambientales del uso de diesel base palma aceitera en México con base en el consumo a 2025.

(nacional y para las tres principales ciudades)

	<i>Demanda de diesel en 2010 (miles de barriles día)</i>	<i>Emisiones directas e indirectas de la quema de combustible fósil (millones de toneladas) - 87.5 gr CO₂e/MJ (EurActiv, 2012); energía disponible de 36.4 MJ/litro</i>	<i>Diesel requerido según distintas mezclas (miles de barriles día)</i>	<i>Cosecha anual requerida - toneladas de fruta (con base en rendimiento promedio de Chiapas - 1,180 litros diesel/ton de aceite; 5.83 ton fruta / ton de aceite)*</i>	<i>Superficie Requerida en hectáreas (rendimiento promedio estimado al doble: 35 ton/ha)</i>	<i>Huella Hídrica en Giga litros (con base en estimaciones propias para el Estado de Chiapas - 2,594 litro/litro)</i>	<i>Emisiones directas e indirectas de la mezcla (millones de toneladas) - 105 gr CO₂e/MJ (EurActiv, 2012); energía disponible de 34.5 MJ/litro</i>
Nacional	531.6 ⁺ (autotransporte 493.1)	98.26	B5: 26.58 (24.65 autotransporte)	7,621,343.1	217,752.66	4,001.4	98.92 (93.34 + 5.58)
			B10: 53.16 (49.31 autotransporte)	15,242,686.18	435,505.31	8,002.8	99.6 (88.43 + 11.17)
			B20: 106.32 (98.62 autotransporte)	30,485,372.36	871,010.63	16,005.7	100.95 (78.6 + 22.35)
Zona Metropolitana del Valle de México	37.75 (35.01 autotransporte) -estimados-	6.97	B5: 1.88 (1.75 autotransporte)	539,056.62	15,401.61	283.02	7.02 (6.63 + 0.39)
			B10: 3.77 (3.5 autotransporte)	1,080,980.56	30,885.15	567.54	7.07 (6.28 + 0.79)
			B20: 7.55 (7 autotransporte)	2,164,828.45	61,852.24	1,136.59	7.16 (5.58 + 1.58)

NOTA: 1 barril = 159 litros.
+ SENER, 2010
* PEMEX, 2011

Fuente: elaboración propia.

6. Conclusiones

Cerca del 60% de la población mundial vive en condiciones de uno u otro grado de malnutrición³¹. En México el 70 por ciento de los adultos y cerca de 4.5 millones de niños entre los cinco y once años padecen sobrepeso, la mayoría por mala alimentación centrada sobre todo en harinas refinadas, grasas saturadas y azúcares. En contraparte, 28 millones padecen pobreza alimentaria, 5 millones de niños sufren de hambre (1.8 millones menores de 5 años) y un millón de jóvenes y adultos están desnutridos.

Por otro lado, la inseguridad alimentaria del país es marcada, sobre todo en aquellos productos básicos. Al año 2010 México importaba el 13% del frijol, el 31% del maíz y granos forrajeros (80% del maíz amarillo), 73% de arroz, 51% de cebada y del trigo, y 98% de la soya, alrededor de la tercera parte de la leche, el 16% de la carne pollo (se duplicó el monto importado en la última década) (www.siap.sagarpa.gob.mx; www.canilec.org.mx).

En este panorama se plantea el impulso a los biocombustibles, esto es en un escenario en el que la producción de alimentos, 99.7% de origen terrestre (Pimentel, 2009), depende de los mismos recursos: tierra, agua y energía, esencialmente. Es además llamativo que el uso de biocombustibles se desprenda de la idea de disminuir las afectaciones del cambio climático y que al mismo tiempo el propio rendimiento de los cultivos dependa en gran medida del clima, contexto en el que además del aumento de las temperaturas, entre otros efectos, las proyecciones de disponibilidad de agua declinarán en un futuro de mayor cambio climático (Cline, 2007 en Pimentel, 2009. Véase también: Lobell y Burke, 2010). Dado que la contribución de los biocombustibles en la disminución de los efectos del cambio climático es limitada, salta a la vista que se apueste por una actividad que en sí misma se verá afectada y que tal actividad se enfoque en producir etanol o biodiesel para su quema, en lugar de producir alimentos y cuya disponibilidad se supone comprometida.

Aún más, el desatino se devela desde distintas aristas. Por ejemplo se calcula que las celdas fotovoltaicas colectan entre 100 y 200 veces más energía que la biomasa por unidad de superficie, lo que la haría más eficiente en términos de demanda de tierra, aunque efectivamente tendría también ciertos costos ambientales asociados a su ciclo de vida que

³¹ Refiere a condiciones de desnutrición (925 millones de personas), obesidad (1,700 millones de personas), sobre peso, deficiencia de micronutrientes (dos mil millones de personas), entre otras categorías.

no deben ser negados. Asimismo, se ha precisado que la siembra de árboles sería más favorable que la quema de biocombustibles pues la reforestación de un área equivalente a la de los cultivos de bioenergía podría secuestrar entre 2 y 9 veces más CO₂ en un periodo de 30 años que lo que se evitaría con el uso de los mencionados biocombustibles (Righelato y Spracklen, 2007 en Sanhueza, 2009B: 108).

El uso de biocombustibles, podrían reemplazar máximo un 20% a 30% de los combustibles líquidos a nivel mundial, ello debido a las limitaciones de disponibilidad de tierra (Sanhueza, 2009B). En el caso de México donde, como se ha calculado, en el mejor de los casos, sólo se podría desplazar el ~20% de las gasolinas con etanol de caña (mezcla máxima que pueden usar los motores convencionales a gasolina) y no más del 5% del diesel con biodiesel de palma. Desde luego se pueden sumar otros tipos de insumos que, sin embargo, tendrán que competir no sólo por tierra, sino por agua.

Se trata de un escenario difícil y al que se suman otros elementos. Por ejemplo, se sabe que para el caso mexicano, el uso de la mezcla de etanol bien pudiera lograr una reducción del 10% de las emisiones de CO₂ (CONAE, 2008) pero con ello se aumentarían al mismo tiempo las emisiones de metano. Se suma el hecho de que el uso de biocombustibles, en particular del etanol, no disminuye el riesgo de cáncer (efecto dañino asociado a la quema de combustibles fósiles), todo al tiempo que sí aumenta el smog fotoquímico en áreas urbanas (Sanhueza, 2009B)

Tampoco deja de ser relevante el hecho de que el etanol presenta una menor densidad de energía 49% menor que la gasolina, por lo que el conductor se ve obligado a cargar combustible con más frecuencia (CONAE, 2008) y su producción es más cara (alrededor de 1.5 veces); además, representa problemas de corrosión de partes mecánicas y sellos y presenta dificultades para encender en climas fríos (CONAE, 2008; Longoria *et al*, 2004). El biodiesel también presenta una densidad energética ligeramente menor al diesel (fósil) del orden de -2%, aunque es irrelevante. El problema principal, como se ha dicho, es que el ciclo de vida del biodiesel de palma es negativo en términos de emisiones de carbono directas e indirectas, ello fundamentalmente debido a la reconversión del suelo. El dato es relevante en tanto que somos un país mega-diverso y centro de origen de diversos alimentos, como el maíz.

Así entonces, y por todo lo antes dicho, la apuesta por el uso de biocombustibles en México más que beneficios claros, dibuja un balance negativo que dispersa y complejiza los impactos en tanto que éstos ya no se limitan a lo atmosférico y a los costos socioambientales propios de la industria petrolera, sino también ahora al ámbito productivo rural, al uso y abuso del agua y del suelo, a la potencial pérdida de biodiversidad, a la relativa erosión de la seguridad y soberanía alimentaria. Los impactos ambientales y la agudización de las desigualdades socioeconómicas son evidentes, desde la propuesta de producir con importantes costos y compensaciones grandes cantidades de biocombustibles para su quema por parte de un sistema de transporte en su mayor parte de tipo privado, hasta la promoción de la concentración de la tierra y de la producción agrícola desligada de las necesidades nacionales, entre otras cuestiones vinculadas a la preservación del negocio agroindustrial, químico-petrolero y automotriz.

Las alternativas para México están entonces en otras soluciones, no necesariamente de tipo tecnológico. Y es que resulta de mayor importancia la reducción del despilfarro de energía (eficiencia), el desarrollo de energías renovables como la solar, la planeación de largo plazo del uso del suelo, la conservación de la biodiversidad, el rescate de ríos y suelos, la mejora en la gestión de los residuos, el replanteo del sistema de transporte urbano, regional y nacional, entre otras cuestiones asociadas a la reducción de la vulnerabilidad de los pueblos y por tanto de las desigualdades socioeconómicas. En resumen, la construcción de una ruta alternativa, de mirada integral y socio-ambientalmente más armónica está en el replanteo de lo que entendemos por desarrollo, para qué, para quiénes, a costo de qué y por cuánto tiempo.³²

³² Para una reflexión sobre esta cuestión, léase Daiber y Houtart, 2012.

Referencias bibliográficas

- ANIAME (2006), *La palma de aceite en el sureste mexicano*. Reportaje/Métodos Globales Respuestas Locales/ Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles, A.C ANIAME. En: http://portal.aniname.com/uploads/palmadeaceiteenelsure_61a49_001.pdf
- Avellaneda Vargas, Fredy Augusto (2010), *Producción y caracterización de biodiesel de palma y de Aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal*. Tesis de doctorado, Universitat Rovilia i Virgili, Tarragona, España.
- Azeredo Franca, Daniel.; Longo, Karla Mariá., Soares Neto, Turibio., Santos, José Carlos., Freitas, Saulo., Rudorff, Bernardo., Vieira Cortez, Ely., Anselmo, Edson., Carvalho, Joao Andrade (2012). "Pre-harvest sugarcane burning: determination of emission factors through laboratory measurements." *Atmosphere*. Vol. 3: 164- 180.
- AIE - Agencia Internacional de Energía (2009), *World Energy Outlook 2009*, Francia.
- AFDB (sin fecha). Executive Summay of the Environmental, social and health impact assessment. ADDAX Bioenergy Project - Sierra Leone (PSLAAG002). African Development Bank Group. Túnez.
- Allwood, J. M., Cullen, J.M., y Milford, R. L. (2010). "Options for achieving a 50% cut in industrial in industrial carbon emissions by 2050. *Environmental Science and Technology*, Vol. 44. No. 6. Pp. 1888-1894.
- Amin, Amal-Lee y Tully, Carla (2009). "Mexico Public – Private Sector Renewable Energy Program." BID. En: idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=2227565
- Audsley, E., Stacey, K., Parsons, D.J. y Williams, A.G. (2009). *Estimation of the greenhouse gas emissions from agricultural pesticide manufacture and use*. Cranfield University. Reino Unido.
- Barba Arturo (2007) *Presidencia de México veta Ley de Bioenergéticos*. México. 13 de septiembre. Disponible en: www.scidev.net/es/south-east-asia/news/presidencia-de-mxico-veta-ley-de-bioenergtricos.html
- BID (2007). "BID apoyará proyectos privados de biocombustibles con valor total de US\$3.000 millones". Comunicado de Prensa, BID. 2 de Abril. En: <http://www.iadb.org/es/noticias/comunicados-de-prensa/2007-04-02/bid-apoyara-proyectos-privados-de-biocombustibles-con-valor-total-de-us3000-millones,3779.html>
- Caldicott, Helen (1978). *Nuclear Madness*. Norton. Nueva York, EUA.
- Campos Chávez, Leslie Cristina (2011) "*Nuevos movimientos sociales: el caso del Grupo Antinuclear de Madres Veracruzanas, un movimiento ambientalista*". Tesis de licenciatura en Sociología. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales-UNAM. México.
- Castro Soto, Gustavo (2009). "The effects of African oil palm in Mexico" en Emanuelli, María Silvia, et. al. (coords.), *Red Sugar, Green Deserts*, FIAN International, FIAN Sweden, HIC-AL y SAL.
- Cervantes, Sarai (2009). "Construirán planta de etanol en México para 2011". *Grupo en Concreto*. 25 de Marzo. En: <http://grupoenconcreto.com/2009/03/construiran-planta-de-etanol-en-mexico-para-2011>

- Chapagain, A.K y Hoekstra, A.Y. (2004). *Water Footprint of the Nations*. Vol. 1 y 2. UNESCO-IHE. Holanda. Noviembre En: www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf y www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol2.pdf.
- Colchester, Marcus y Chao, Sophie (2011). *Trends and implications for local communities and indigenous peoples*. Forest Peoples Programme / Perkumpulan Sawit Watch. Indonesia.
- Comexpalma (2010). “Los 10 mandamientos de La Palma de Aceite”, presentación disponible en: www.comexpalma.org/comexpalma2010/imgs/Los%2010%20Mandamientos.ppt
- CONAE (2008). Ficha técnica: vehículos con etanol. En: www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/466/1/images/vehiculoetanol.pdf
- Cushion, Elizabeth., Whiteman, Adrian., y Dieterle, Gerhard (2010). *Bioenergy Development*. The World Bank. Washington, D.C. EUA. En: <http://siteresources.worldbank.org/INTARD/Resources/Bioenergy.pdf>
- CVCA - Comisión Veracruzana de Comercialización Agrícola (2010). *Monografía de la caña de azúcar*. Gobierno del Estado de Veracruz. México. En: <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/MONOGRAFIA%20CA%D1ADEAZUCAR2010.PDF>
- Daiber, Birgit y Houtart, Francois (2012). *Un paradigma poscapitalista: el bien común de la humanidad*. Ruth Casa Editorial. Panamá/Cuba.
- De Diego Correa, Lilia (2011), *La palma africana en el municipio de Mapastepec, Chiapas en el marco de la Reconversión Productiva*. Tesis de maestría en estudios regionales del Instituto Mora. México.
- Delgado Ramos Gian Carlo (2009) *Sin energía. Cambio de paradigma, retos y resistencias*. Plaza y Valdés, México.
- Delgado, G.C., Gay, C., Imaz, M., y Martínez, A. (2010). *México frente al cambio climático: retos y oportunidades*. Ceich-CCA-PINCC-PUMA, UNAM.
- Deffeyes Kenneeth (2001) *Hubbert's Peak: The impending World of Oil Shortage*. EUA, Princeton University Press. United States.
- Deffeyes, Kenneth (2005). *Beyond Oil: the view from Hubbert's Peak*. Hill and Wang. EUA.
- EFE (2011). “Aeroméxico cruza el Atlántico con bioturbosina” en *El Universal*, 2 de agosto, en: www.eluniversal.com.mx/notas/783048.html
- Ekanayake, Janaka., Liyanage, Kithsiri., Wu, Jianzhong., Yokoyama, Akihiko y Jenkins, Nick. (2012). *Smart Grid. Technology and Applications*. Wiley & Sons. Nueva Deli, India.
- Enríquez Poy, Manuel. s/ f. *Ciclo de vida del etanol “una aproximación inicial”* C. Motzorongo. UNAM. México.
- EPA (2012). EPA Issues notice of data availability concerning renewables fuels produced from palm oil under the RFS Program. Environmental Protection Agency. EUA. En: www.epa.gov/oms/fuels/renewablefuels/documents/420f11046.pdf
- Equihua Zamora, Miguel y Benítez Badillo, Griselda (2009). *Diagnóstico ambiental de la situación de la subcuenca de la laguna El Salado, en el Papaloapan, e*

implicaciones ambientales por la potencial producción de etanol en ingenios azucareros en la subcuenca, como medida de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Instituto Nacional de Ecología. México. Disponible en: www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/2009_inf_final_el_salado.pdf

- EurActiv (2012). "Biodiesels pollute more than crude oil, leaked data show". EurActiv. 27 de Enero. Disponible en: www.euractiv.com/climate-environment/biodiesels-pollute-crude-oil-lea-news-510437
- Fairlie, Ian y Summer, David (2006). "*The other report on Chernobyl (TORCH)*". The Greens- EFA in the European Parliament. Berlín/Bruselas/Kiev.
- Fargione et al (2008). "Land clearing and the biofuel carbon debt." *Science*. Vol. 319. No. 5867. Pp. 1235 – 1238.
- García, Carlos., Fuentes, Alfredo., Hennecke, Anna., Riegelhaupt, Enrique., Manzini, Fabio y Masera, Omar (2011). "Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico". *Applied Energy*. Vol. 88. No. 6: 2088-2097.
- Gerbens-Leenes, P.W., y Hoekstra, A.Y. (2009). *The water footprint of sweeteners and bio-ethanol from sugar cane, sugar beet and maize*. UNESCO-IHE. Research Report Series No. 38. Holanda.
- Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y., y Van der Meer, T.H. (2009). "The water footprint of bioenergy". *PNAS*. Vol. 106. No. 25.: 10219 – 10223.
- Giampietro, Mario (2003) *Energy Use in Agriculture*. Istituto Nazionale di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione. Roma, pp.1-15.
- Gómez Javier, et al. (2008) *Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos*. Comisión Económica para América Latina. Serie Medio Ambiente, No. 137, Chile. Disponible en: www.eclac.cl/publicaciones/xml/1/34201/LC-L.2915-P.pdf
- Haberl et al (2007). "Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems". *PNAS*. Vol. 104. No. 31. Pp. 12942-12947.
- Heinberg Richard (2003) *The party's over. Oil, War and the Fate of Industrial Societies*. New Society Publishers, Canadá.
- Hernández Alpízar, Javier (2008) *Demandan a Alcoholera Zapopan*. Revista Contralínea, Año 3, No.17. México. Disponible en: www.veracruz.contralinea.com.mx/archivo/2008/enero/htm/demandan-alcoholera-zapopan.htm
- Hernández Cruz, Miguel, et. al. (2006), *La Palma de Aceite; Producción de la planta*. Folleto para productores No. 1, Tuxtla Chico, Chiapas, Campo Experimental Rosario Izapa, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.
- Hesel ZR (1992). Energy and alternatives for fertilizers and pesticide use en: Fluck RC (ed.) *Energy in Farm Production* vol. 6 of *Energy in World Agriculture*, Stout BA. Amsterdam, en: Giampietro, M. 2003. *Energy Use in Agriculture*. Istituto Nazionale di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione. Roma, pp.1-15.
- Hoekstra A.Y.; Hung, P.Q. (2002). "Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade". *Value of Water*

Research Report Series. No. 11. UNESCO-IHE, Institute for water education. Holanda.

- INE. Instituto Nacional de Ecología (2006) *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*, México.
- INE, SEMARNAT, CIECO-UNAM (2008) *Análisis integrado de las tecnologías, el ciclo de vida y la sustentabilidad de las opciones y escenarios para el aprovechamiento de la bioenergía en México*, México, en: http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/e2008e_bioenergia.pdf
- INFOAGRO (s/f), “El cultivo de la palma africana”, en: www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_africana_aceitera_coroto_de_guinea_aabora.htm
- IPCC - Panel Intergubernamental Sobre Cambio Climático (2007) *AR4-Climate Change 2007 The Physical Science Basis*. Cambridge, Reino Unido-Nueva York, Estados Unidos.
- IPCC - Panel Intergubernamental Sobre Cambio Climático / Edenhofer, Pichs y Sokona (editores) (2012). *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Reino Unido.
- Jonasse, Richard (2009). *Agrofuels in the Americas*. Food First Books. Oakland, California. EUA.
- Kojima, Masami y Johnson, Todd (2005). *Potential for Biofuels for Transport in Developing Countries*. Energy Sector Management Assistance Programme. Banco Mundial. Washington, D.C., EUA. Octubre.
- Lazcano Martínez, Ignacio. “Ethanol feedstock”, en: SENER/GTZ/BID, (2006) *Potenciales y viabilidad del uso del bioetanol y el biodiesel para el transporte en México*, México. Disponible en: www.sener.gob.mx/res/169/Biocombustibles_en_Mexico_Estudio_Completo.pdf
- Ley (2008a): *Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos*, en: www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPDB.pdf
- Ley (2008b): *Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética*, en: www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAERFTE.pdf
- Lobell, David y Burke, Marshall (Eds.). (2010). *Climate Change and Food Security. Adapting Agriculture to a Warmer World*. Springer, Nueva York, EUA.
- Longoria, R., Morales, J.A., López, G. (2004). “La producción de caña de azúcar, azúcar y etanol en el estado de Morelos.” En: <http://hypatia.morelos.gob.mx/no13/ciencia.html>
- Martínez, José Manuel. (2008). “El etanol tiene un freno:Pemex”. *CNN Expansión*. 20 de Febrero. En: www.cnnexpansion.com/economia/2008/02/19/el-etanol-tiene-un-freno-pemex
- Melillo et al (2009). *Unintended environmental consequences of a global biofuels program*. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Reporte 168. Disponible en: http://globalchange.mit.edu/files/document/MITJPSPGC_Rpt168.pdf
- Merlos, Andrea Merlos, y Gómez Ricardo. 2007. “Regresa Calderón al Congreso Ley de Bioenergéticos”. *El Universal*. México, 16 de Octubre. Disponible en: www.elgrafico.mx/notas/455537.html

- Metrobús (2010). *Reporte de reducción de emisiones. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por el quinto año de operación del Corredor Metrobús Insurgentes*. Disponible en: www.metrobus.df.gob.mx/transparencia/documentos/art15/X/X01_Informe_Reduccio_nes_2009-2010.pdf
- Molina, Enrique., Molina, Carlos, Molina, Carlos, y Molina, Juan Pablo. 1998. *Estudio de Caso Sobre el Manejo Convencional y Agroecológico del Cultivo De la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca, Colombia*. Reserva Natural El Hatíco. Colombia.
- Monbiot, George (2005). "Peor que los combustibles fósiles". *Znet.*, 7 de Diciembre. Disponible en: www.zmag.org/Spanish/0106monbiot2.htm
- Newman, P., Beatley, T., y Heather, B. (2009). *Resilient Cities. Responding to Peak Oil and Climate Change*. Island Press. Washington, D.C., Estados Unidos.
- Notimex (2011). "Iniciará Aeroméxico "vuelos verdes" con bioturbosina a Costa Rica" en *Milenio*, 27 de septiembre, en: www.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/5b3f6569861bc7b1ebc8edca2e981bd7
- Olivera de los Santos, Aída, *et. al.* (2006). *La Palma de Aceite; 3 Cosecha*, Folleto para productores No. 3, Tuxtla Chico, Chiapas, Campo Experimental Rosario Izapa, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Olivera de los Santos, Aída (2007), *Herramienta y programación de cosecha en palma de aceite*. Folleto para productores No. 9, Campo Experimental Rosario Izapa, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
- Ometto A. R., Zwicky-Hauschild M., Nelson-Lopes W. 2009. "Lifecycle assessment of fuel ethanol from sugarcane in Brazil". *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Vol. 14 No. 3:236-247.
- Pelletier, Nathan y Tyedmers, Peter (2010). "Forecasting potential global environmental costs of livestock production 2000 – 2050". *PNAS*. Vol. 107. No. 43. Pp. 18371 – 18374.
- PEMEX (2011). *Anuario Estadístico 2011*. México. En: www.pemex.com/informes/pdfs/anuario_estadistico_2010.pdf
- Pereira de Souza, Simone, *et. al.* (2010) "Greenhouse gas emissions and energy balance of palm oil biofuel", *Renewable Energy*. Vol. 35, No.11, Noviembre: 2552-2561.
- Pérez Rincón, Mario Alejandro; Álvarez Roa, Paula. 2009. *Deuda social y ambiental del negocio de la caña de azúcar en Colombia. Responsabilidad social empresarial y subsidios implícitos en la industria cañera*. ARFO Editores. Bogotá, Colombia.
- Pimentel *et al* (2008). "Biofuel Impacts on World Food Supply: Use of Fossil Fuel, Land and Water Resources." *Energies*. Vol. 1: 41 – 78.
- Pimentel *et al* (2009). "Food versus biofuels: environmental and economic costs". *Human Ecology*. Vol. 37. No. 1: 1 – 12.
- Pimentel, D., y Pimentel, M. (1996). *Food, Energy and Society*. Niwot. University of Colorado Press en: Giampietro, M. 2003. *Energy Use in Agriculture*. Instituto Nazionale di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione. Roma, pp.1-15.
- Pineda Morales, Sonia Janet (2009), *Productores de palma de aceite del Soconusco ante el impacto del orden mundial contemporáneo*. Tesis de maestría. Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

- Plan Rector (2004). *Plan Rector del Sistema Producto de la palma de aceite de Chiapas 2004-2014*. Gobierno del Estado de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas., México.
- Pleanjai, S., Gheewala, S. H., y Garivait, S. (2007). "Environmental evaluation of biodiesel production from palm oil in a life cycle perspective". *Asian Journal on Energy & Environment*. Vol. 8. No. 1-2. Pp. 15 – 32.
- Reglamento de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (2009). Cámara de Diputados. México Disponible en: www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LPDB.doc
- Ren21 (2011). *Renewables 2011. Global Status Report*. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Paris, Francia.
- Rockström et al. (2009). "Planetary boundaries:exploring the safe operating space for humanity." *Ecology and Society*. Vol. 14. No. 2. Artículo 32. Disponible en: www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/
- Rodríguez, Israel (2010). "Productores de energía eléctrica privados general 46% de la capacidad de CFE". *La Jornada*. 21 de Mayo. En: www.jornada.unam.mx/2010/05/21/index.php?section=economia&article=023n1eco&partner=rss
- Rothkopf, Garten (2006). *A Blueprint for Green Energy in the Americas. Featuring: The Global Biofuels Outlook 2007*. Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, D.C., EUA.
- SAGARPA 2007. *Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2007-2012*. México.
- SAGARPA (2010A). *Bases técnicas para el fomento a la producción de biocombustibles en el país a partir de caña de azúcar*. SAGARPA. México.
- SAGARPA, (2010B). *Biodiesel*, en: <http://internetconsentido.com/bio/interior/biodiesel/index.html>
- SAGARPA, (2010C), *Producción de Biodiesel a Partir de Palma de Aceite o Palma Africana*, en: hwww.bioenergeticos.gob.mx/index.php/biodiesel/produccion-a-partir-de-palma-de-aceite-o-palma-africana.html
- Sanhueza, Eugenio (2009A). Potential emissions of Kyoto and non-Kyoto climate active compounds in the production of sugarcane ethanol. *Interciencia*. Vol. 34 No. 1. Caracas, Venezuela: 8 – 16.
- Sanhueza, Eugenio (2009B). "Agroetanol ¿un combustible ambientalmente amigable?" *Interciencia*. No. 34. Vol. 2. Caracas, Venezuela:106-112.
- Searchinger et al (2008). "Use of US Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases." *Science*. Vol. 319. No 5867. Pp. 1238 – 1240.
- Searchinger et al (2009). "Fixing a critical climate accounting error". *Science*. Vol. 326. No.5952: 527-528.
- SENER (2010). *Prospectiva de petrolíferos 2010 – 2025*. Gobierno Federal. México.
- Sener (2011) *Estrategia nacional para la transición energética y el desarrollo sustentable de la energía*, en: <http://www.energia.gob.mx/webSener/res/0/Estrategia.pdf>
- SENER/GTZ/BID (2006). *Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México*. Proyectos ME-T1007 – ATN/DO-9375-

- ME y PN04.2148.7-001.00. México. En: www.energia.gob.mx/res/169/Biocombustibles_en_Mexico_Estudio_Completo.pdf
- Sin autor (2007) "México puede ser potencia en etanol", *CNN Expansión*, 4 de abril, en: www.cnnexpansion.com/economia/2007/4/mexico-puede-ser-potencia-en-etanol-bid
 - Sin autor, 2008a. "México: quieren reformar la Ley de Bioenergéticos". *Adnmundo*. Argentina, 22 de Junio. Disponible en: www.adnmundo.com/contenidos/biocombustibles/bioenergeticos_mexico_reformar_ley_nl35_29_06_2007_bio.html
 - Sin autor (2008B) "Impulsan los proyectos de etanol en Tamaulipas". *El Mañana*. 1 de Marzo. En: www.elmanana.com.mx/notas.asp?id=44101
 - Sin autor (2008C) "Tuxtepec: comienzan a construir fábrica de etanol". *ADNMundo*. 13 de Junio. En: www.adnmundo.com/contenidos/bio/mexico_tuxtepec_construir_fabrica_etanol_nl_14_22_01_2007_bio.html
 - Sin autor, (2008D) *Viable, proyecto para producir etanol en tierras hoy "ociosas"*, Biodisol. 7 de Mayo. En: www.biodisol.com/biocombustibles/viable-proyecto-para-producir-etanol-en-tierras-hoy-%E2%80%9Cociosas%E2%80%9D/
 - Sin autor (2008E) *Analizan crear planta de etanol*, Noticaribe, 27 de enero, en: www.noticaribe.com.mx/chetumal/2008/01/analizan_crear_planta_de_etanol.html
 - Sin, Autor (2010) "Impulsa gobierno de Oaxaca producción de caña y etanol". *Notioax*. 4 de Noviembre. En: <http://notioax.com/portal/?p=369>
 - Sin autor (2011) "Interjet, primera línea mexicana en usar bioturbosina en vuelo a Tuxtla Gutiérrez", en *La Jornada*, 2 de abril, en: www.jornada.unam.mx/2011/04/02/economia/024n1eco
 - Smil V. 1987. *Energy, Food, Environment*. Oxford: Clarendon Press, en: Giampietro, M. 2003. *Energy Use in Agriculture*. Istituto Nazionale di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione. Roma.
 - Sperling, Daniel y Gordon, Deborah (2009). *Two billion cars: driving toward sustainability*. Oxford University Press. EUA.
 - Sovacool, Benjamin K. (2008). "Valuing greenhouse gas emissions from nuclear power: a critical survey." *Energy Policy*. Vol. 36. Elsevier. Pp. 2940-2953.
 - Thébaud-Mony, Annie (2011). *Nuclear Servitude. Subcontracting and Health in French Civil Nuclear Industry*. Baywood Publishing Co. Nueva York, EUA.
 - UNEP – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2010). *Water and Bioenergy*. Bioenergy Issue Paper Series No. 2. Disponible en: www.globalbioenergy.org/uploads/media/1002_UNEP_-_Water_and_bioenergy.pdf
 - UN-HABITAT (2011). *Cities and Climate Change*. Londres, Reino Unido-Washington- Estados Unidos: Earthscan.
 - Velasco Farrera, Erika del Rosario (2010), "Crisis agroalimentaria. Impacto y estrategias de los pequeños productores en Villa Comaltitlán, Chiapas". Tesis de licenciatura, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, Universidad Autónoma de Chiapas., México.
 - Westerbeek, Thijs (2007). "Agrocombustibles ¿Bendición o Maldición?" *Ambientalistas en Acción*. No. 61. Bogotá, Colombia. Diciembre.
 - Wise et al (2009). "Implications of limiting CO2 concentrations for land use and energy." *Science*. Vol. 324. No. 5931: 1183-1186.

- Yablokov, Alexey V.; Nesterenko Vassily B.; Nesterenko Alexey V., (2009) "*Chernobyl. Consequences of the Catastrophe for People and the Environment*". The New York Academy of Sciences, Boston, EUA.
- Zapata, Carlos David et. al. (2007), "Producción de biodiesel a partir de aceite crudo de palma: 1 Simulación y diseño de dos procesos continuos", en *Dyna*, marzo, año/vol 74, número 151, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, pp. 71-81.

Cálculo de huella hídrica

Los cálculos de huella hídrica se hicieron para el caso de los cultivos de azúcar en Veracruz y para el caso de la palma aceitera en Chiapas. La metodología empleada hace uso de las siguientes fórmulas para obtener los requerimientos de agua:

Requerimiento de agua por cultivo (RAC)

$$RAC [C] = 10 \times \Sigma ETo$$

Donde ΣETo = Sumatoria día a día de todas las evapotranspiraciones del cultivo

Se multiplica x10 para que los mm/ha se vuelvan m³/hectárea³³

Debido a la carencia de datos a nivel nacional de evapotranspiración por región, se utilizó la evapotranspiración media anual calculada para México por UNESCO-IHE (Chapagain y Hoekstra, 2004. Vol. 2. Apéndice XI-3).

Clave país	Nombre	ETo
138	México	3.74

Evapotranspiración por año (ETc)

$$ETc [C] = Kc [C] \times ETo$$

Kc = Coeficiente del cultivo

ETo = Evapotranspiración (promedio del lugar en específico)

Para el coeficiente del cultivo [Kc] de caña y palma africana se utilizaron los datos de UNESCO-IHE considerando clima subtropical con lluvia de verano (Chapagain y Hoekstra, 2004. Vol. 2. Apéndice VI-1 y VI-2).

³³ $RAC (c) = 10 \Sigma ETo (c, d)$. El requerimiento de agua de un cultivo es calculado por la acumulación diaria de datos de la evapotranspiración de un cultivo ETc (mm/día) en el periodo completo de crecimiento del mismo, medido en días; por lo que la sumatoria es hecha desde el día 1 hasta el final del periodo de crecimiento. Y donde el factor 10 al multiplicarse tanto con el numerador (mm) como con el denominador (m²), permite transformar mm/m² en m³/ha. Para más información véase: Chapagain y Hoekstra, 2004. Vol 1.

Clave cultivo	Nombre	Coeficiente cultivo			Tiempo siembra-cosecha en días			
		Kc Inicial	Kc Medio	Kc Final	Inicial	Desarrollo	Media	Final
156	Caña de azúcar	0.4	1.25	0.75	30	50	180	60
254	Palma aceitera	0.9	0.95	0.95	120	60	180	5

Para conocer los datos de producción anual en toneladas y el rendimiento anual en toneladas por hectárea (ton/ha) de la caña de azúcar en Veracruz y de la palma aceitera en Chiapas se consultaron las bases de datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).³⁴

Uso de agua de un cultivo UAC [C]

$$UAC [C] = RAC [C] \times \frac{\text{Producción [C]}}{\text{Rendimiento [C]}}$$

RAC en m³/hectárea

Producción en toneladas.

Rendimiento en toneladas/hectárea

UAC – se mide en m³/tonelada

Agua virtual (AV) Agua necesaria para producir 1 tonelada de cultivo

$$AV = \frac{RAC}{\text{Rendimiento [C]}}$$

RAC en m³/hectárea

Rendimiento en toneladas/hectárea

AV – se mide en m³/tonelada

Huella Hídrica

$$HH = AV \times \text{producción}$$

AV en m³/tonelada

Producción en toneladas

HH - se mide en m³

³⁴ En: www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350

Unidades comunes de medida y sus conversiones

1 joule = 1 newton aplicado en una distancia de un metro

1 joule = 0.239 calorías

1 caloría = 4.187 joules

1 giga joule = 109 joules = 0.948 millones de Btu (unidades térmicas británicas).

1 Btu = 1055 joules

1 hectárea = 10 mil m²

1 km² = 100 hectáreas

1 tonelada métrica = 1,000 kg

1 tonelada métrica de etanol = 7.94 barriles de petróleo = 1262 litros

Contenido energético: 21.1 MJ/litro

1 tonelada métrica de biodiesel = 37.8 Gj (rango de 33.3 a 35.7 MJ/litro)

Densidad (promedio) = 0.88 g/ml

Barril de petróleo equivalente = 6.1GJ ó 5.8 millones de Btu = 1,700 kWh

Volumen: 159 litros

1 tonelada métrica de petróleo = 7.2 barriles de petróleo = 42 – 45 GJ

1 tonelada de gasolina = 8.53 barriles = 1,356 litros

Contenido energético: 35 MJ/litro