



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

La producción de bioetanol en Brasil y sus impactos medioambientales e hídricos

Autor: Elisa Vargas Amelin

Institución: EVREN, S.A

e-mail: evargas@evren.es y vramirez@evren.es

Otros autores: Vicente Ramírez Perea, EVREN, S. A)

RESUMEN

Brasil es actualmente el primer productor de bioetanol del mundo a partir de caña de azúcar, y su utilización para vehículos se lleva realizando desde hace décadas. Su combinación con otros fueles y la versatilidad de los coches, han permitido a este país disminuir su dependencia del petróleo. Los beneficios económicos resultantes han sido numerosos, principalmente debido a la producción y la exportación del biocombustible y a las actividades agrícolas asociadas. Además, la sustitución de parte del consumo de petróleo por un biocombustible obtenido mediante fuentes renovables presenta grandes ventajas ambientales. Sin embargo, también existen diferentes problemas sociales y ambientales ligados su producción que deben ser considerados. Entre estos problemas, se incluyen el desplazamiento de tierras de cultivos y personas dependientes de ellos, la implantación de extensiones del monocultivo de la caña (especie invasora de por sí) y reducción de biodiversidad, así como el alto consumo de recursos hídricos necesarios tanto para el cultivo, como para los procesamientos para obtener etanol, además de los problemas de contaminación asociados. El presente artículo analiza la producción de bioetanol en Brasil, ofreciendo algunas comparaciones con otros países, y analiza las principales externalidades encontradas, centrándose en el impacto producido en los recursos hídricos.

Palabras Clave: recursos hídricos; bioetanol; energía; caña de azúcar

1. Principales características de Brasil: introducción a los aspectos socio-económicos

Con objeto de entender el contexto del cultivo y uso de la caña de azúcar, se ofrece una introducción al clima y a las principales características sociales y económicas del país, resaltando aquellos aspectos relacionados con la agricultura, los recursos hídricos y el sector energético.

Marco climático

Este país de Sudamérica, que casi alcanza proporciones de continente con sus 8.514.877Km², presenta principalmente un clima tropical y semiárido en el sur. Con casi 200 millones de habitantes, sus vastas selvas tropicales, llanuras, colinas, montañas, y la influencia del océano atlántico, y a pesar de su carácter predominantemente tropical, hace que posea regiones diferenciadas, y que el país cuente con una gran variedad de temperaturas y precipitaciones (CIA, 2009). A grandes rasgos, se puede decir que la mayor parte del país se encuentra en zona intertropical, presentando una amplia zona semiárida en el noreste, que sufre recurrentes sequías. No afectan a su clima grandes cordilleras, pero la zona de la Amazonía proporciona importantes masas de aire húmedo que se extienden por el país. Predominan en Brasil los climas ecuatorial, tropical y subtropical como muestra el siguiente mapa.



Mapa 1. Principales climas de Brasil. Fuente Guía 2000.

Las precipitaciones son abundantes en todo el país, especialmente en la zona atlántica, que registra medias superiores a los 1.200 mm por año, pero el país presenta grandes irregularidades, ya que en el noreste las precipitaciones descienden a los 800 mm. Las temperaturas son cálidas a lo largo del año, variando entre 13 y 27° C, siendo el norte más caluroso (la guía 2000, 2010). La temperatura media anual es de aproximadamente 28° C en el norte y 20° C en el sur. Como curiosidad, cabe destacar que la falta de humedad relativa del aire en Brasilia, llega a bajar a niveles desérticos (en torno al 12%) lo cual, y a pesar del gran lago artificial existente en este distrito federal, hace saltar varias veces al año la alarma en la ciudad, ya que sin las precauciones adecuadas, una persona expuesta puede deshidratarse en cuestión de horas.

Recursos hídricos

La cantidad de recursos hídricos superficiales totales en el país es de 8.172km³/año (de los cuales más de 2.800 provienen del caudal del Amazonas) y la cantidad de recursos que fluyen fuera de Brasil, mediante el río de la Plata, es de 518km³/año. Las zonas con menor disponibilidad de agua, tanto por persona como por área, incluyen la región semiárida del Atlántico Este y la cuenca del río San Francisco. En relación a las aguas subterráneas, destacar que un gran volumen se encuentra a una profundidad relativamente baja, lo que proporciona un recurso adicional y de buena calidad para abastecer a la población. Aproximadamente 200.000 pozos están en activo, con los que se abastece a un 61% de la población (Aquastat, 2000). Hay que indicar que una de las asignaturas pendientes de la administración hidráulica brasileña sigue siendo la depuración y el tratamiento de las aguas, por lo que la extracción de aguas subterráneas supone un recurso fácil y de bajo coste para abastecer las demandas. En teoría, el país cuenta con grandes cantidades de recursos hídricos que deberían satisfacer las demandas de los diferentes usos. Sin embargo, el hecho de que presente una gran irregularidad espacial y temporal, hace que ciertas zonas sufran escasez de agua. En 1996, la media del consumo para el regadío era de 12.500m³/ha/año, siendo el noreste y afluentes de la cuenca San Francisco los que presentaron menor disponibilidad (Aquastat, 2000). Prácticas como la desalación o la reutilización de aguas usadas comienzan a ser habituales en el país, especialmente en el noreste.

A pesar del carácter predominantemente tropical, las precipitaciones anuales medias varían. En las zonas del norte y noreste la media está en torno a los 250 – 2.000 mm/año y 1.500 – 3.000. En el sur entre 1.250 y 2.000, en el sureste entre 900 y 4.400 y en el centro-oeste entre 1.250 y 3.000. Además, Brasil es el cuarto país del mundo en infraestructuras hidráulicas con unos 50.000km (Aquastat, FAO 1999; CIA, 2009).

Algunos de sus ríos más importantes son el Amazonas (que posee el mayor volumen del mundo), el Tocantins-Araguaia, el Río de la Plata y el San Francisco. A modo de comparación, indicar que la cuenca del Ebro, la más extensa de España, ocupa una superficie de 85.362 km² (frente a los 3.935.000 km² del Amazonas en Brasil), representando el 17,3% del territorio peninsular. Su río principal, el río Ebro tiene una longitud de 910 km y un caudal medio de 8.832 hm³/año, en comparación con los 6.800 km y 119.344,838 hm³/año del Amazonas (CHE, 2010 y Aquastat, FAO, 1999).

Los fenómenos extremos, como inundaciones, tifones o tormentas tropicales son comunes en el país. Las inundaciones, con consecuentes deslizamientos de tierra y barro, son causantes de pérdidas humanas y millones de euros en materiales cada año. Pero al igual que estos fenómenos, también los asociados a falta de agua son habituales. La *sequía* por un lado, caracterizada por ser un proceso climático lento, difícil de predecir, provocado por un aporte menor de recursos hídricos que en estado normal (principalmente debido al descenso de precipitaciones), se suceden en Brasil frecuentemente en el noreste, causando importantes impactos socioeconómicos y ambientales. La *escasez de agua* por otro lado, está más ligada al efecto antrópico que al natural, y se define como el desequilibrio entre el agua disponible y las demandas existentes (Estrela y Vargas, 2008). Esta escasez de agua, está más presente tanto en el noreste como en el centro-occidental del país.

El uso del agua del país se distribuye como muestra el gráfico siguiente en casi un 60% para actividades agrarias, un 19% para el uso industrial y un 22% para el doméstico (abastecimiento urbano).

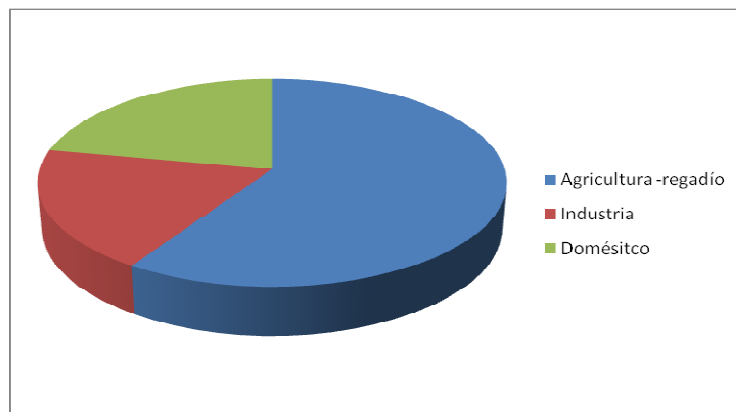


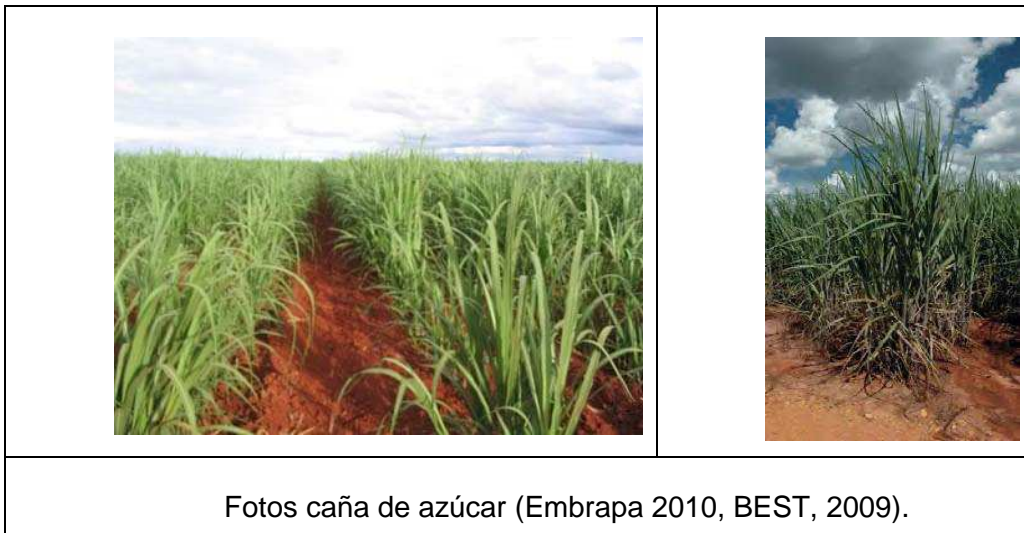
Gráfico 1. Distribución de los usos del agua en Brasil. Elaboración propia (datos ANA, 2008)

Los principales problemas a los que se enfrenta el país en relación a los recursos hídricos son la contaminación difusa (prácticas agropecuarias) y puntual (minería y vertidos urbanos e industriales), así como la falta de saneamiento y depuración. También la degradación de humedales, la erosión del suelo y los vertidos de crudo, cuentan entre los principales problemas medioambientales. El sureste y sur del país son las zonas que concentran la mayor parte del uso del agua, y por tanto presentan mayores problemas de contaminación.

Brasil también cuenta con unos 83 ríos compartidos con países vecinos como las Guayanas, Venezuela, Colombia, Perú, Bolivia, Paraguay, Argentina y Uruguay. En algunos casos, existen acuerdos específicos como el del aprovechamiento del Río Cuerim con Uruguay de 1991, que cubre aspectos como la información hidrológica, extracciones para diferentes usos, las obras hidráulicas o la pesca (Cordeiro, 2008).

Características socio-económicas

Con más de 198.000.000 habitantes, Brasil es el sexto país más poblado del mundo con un índice de natalidad del 2,21, y una esperanza de vida que se sitúa en los 71 años para el total de la población. La economía del país se ha basado principalmente en los servicios la agricultura, la minería, y los productos manufacturados. En concreto, los servicios, la industria y la agricultura, representan un 65,3%, 28% y 6,7% del PIB respectivamente. Y la economía de Brasil se considera más potente que la de cualquier otro país sudamericano. Aun no siendo el sector que más contribuye a la economía, la agricultura en el país sigue siendo de gran importancia (en España sólo representa un 2,6 del PIB según el INE). La superficie de cultivo ocupa unos 66 millones de ha, que aún representando menos del 8% de la superficie total del país genera en torno al 20% del empleo total. Los principales productos son el café, la soja, el trigo, el arroz, el maíz, la caña de azúcar, el cacao, los cítricos y también la carne. Los recursos minerales que produce son numerosos e incluyen cristal de cuarzo, diamantes, cromo, mineral de hierro, fosfatos, o carbón (CIA, 2009).



En relación a la caña de azúcar y su producción, ya en el siglo XVIII Brasil era el tercer país productor (Goldenberg, 2006), pero actualmente, y según los datos de la FAO, es el mayor del mundo y el que más hectáreas dedica a ello. La siguiente tabla muestra una comparación de la producción y hectáreas en diferentes países.

Año 2008

País	Producción (millones de toneladas)	Área (miles de ha)
Brasil	648	8141
India	348	5055
China	125	1708
Tailandia	73	1054
Pakistán	64	1241
Méjico	51	670
Colombia	38	383
Australia	33	390
Filipinas	26	397
Estados Unidos	27	374
España	0,017	0,3
Global	1743	24375

Tabla 1. Principales productores de caña de azúcar. Elaboración propia (datos FAOSTAT, 2009)

Hay que mencionar que según otras fuentes (Balat y Balat, 2009) la producción total de bioetanol es ligeramente mayor en EE.UU. que en Brasil, pero a partir de otros cultivos, menos eficientes energéticamente, como el maíz.

La caña de azúcar transforma, muy eficientemente, la energía solar en fibra y azúcares, y pertenece al grupo de plantas C4 (al que pertenecen solo un 15% de las plantas) que poseen una alta capacidad para fijar el CO₂ atmosférico. De ella se obtiene tanto el azúcar de mesa, como panela, siropes, licores, ron o cachaza, además de utilizarse como pienso para animales. Sin embargo, es la producción de bioetanol el principal uso de esta especie en Brasil (FAO, 2009).

2. Importancia del agua en el país (situación por regiones y cuenca hidrográfica)

Introducción a la Administración hidráulica

Al igual que en diferentes países, como por ejemplo España, la Administración hidráulica en Brasil presenta cierta complejidad, ya que las competencias se reparten y a veces,

solapan entre diferentes entidades. Brasil es una República Federativa con tres entes principales: la Unión, los Estados y el Distrito Federal y los Municipios.

La formulación de políticas en materia de aguas, recae en ámbito nacional en el Ministerio de Medio Ambiente, y en el provincial en el Gobierno correspondiente. Según la resolución 32 del Consejo Nacional de Recursos Hídricos (15/10/2003), la división hidrográfica nacional se divide en 12 regiones hidrográficas, como muestra el mapa 2, que de norte a sur son: Amazónica, Tocantins/Araguaia, Atlántico Nordeste Occidental, Parnaíba, Atlántico Nordeste Oriental, San Francisco, Atlántico Este, Paraguay, Paraná, Atlántico Sureste, Atlántico Sur, y Uruguay.



Mapa 2. Regiones hidrográficas de Brasil (ANA, 2008)

La Amazónica, es obviamente la región de mayor disponibilidad hídrica con 4.161Km³. Mientras que en el sur y sureste se concentra la mayor parte del uso del agua y de la contaminación, tanto puntual como difusa, el norte y noreste (Minas Gerais) presentan los indicadores sociales más bajos del país, altos índices de pobreza, escasez de agua y recurrentes sequías. Es más bien en esta zona así como en el centro-occidente del país (regiones hidrográficas de Tocantins/Araguaia, Paraguay y norte de Paraná) donde se está produciendo la mayor expansión agrícola con la consecuente presión hídrica (Cordeiro, 2008).

En relación al uso legal del agua, la Constitución Brasileña de 1988 (La Constitución Ciudadana) define el agua como un bien público que puede ser utilizado por entes privados mediante una concesión del derecho del uso. El otorgamiento de esta concesión depende del Poder Público, y se garantiza al usuario solamente el derecho del uso por un periodo determinado. Las aguas pueden ser gestionadas de manera federal (si los cursos de agua atraviesan más de una provincia o se consideran internacionales al compartirse con otros países) o provincial –dentro de un estado- (el curso de agua recae exclusivamente en el territorio de una provincia). Sin embargo, no hay dominio municipal del agua (ANA, 2008).

Principales hitos alcanzados: competencias, participación pública y plan nacional de recursos hídricos

Cabe destacar la integración de principios novedosos en la legislación brasileña en materia de aguas. Así, la Política Nacional de Recursos Hídricos (Ley 9.433 de enero de 1997), establece las prioridades del uso de agua ante situaciones de sequía para el consumo humano y animal, destaca la importancia del recurso para los distintos usos, establece la cuenca hidrográfica como unidad de gestión y planificación y promueve una gestión descentralizada enfatizando la importancia de la participación pública (usuarios y comunidades de regantes). Además, tiene por objeto asegurar la disponibilidad para generaciones futuras, promoviendo un uso racional y sostenible, y la prevención de fenómenos extremos.

En años más recientes, se han logrado importantes avances como la constitución de una Cámara Técnica del Plan Nacional de Recursos Hídricos (1999), el establecimiento de competencias claras en el seno del Ministerio de Medio Ambiente (2003), la delimitación de las regiones hidrográficas como se ha mencionado ya (2003), además del complejo y activo proceso de participación pública que dio lugar al Plan Nacional de Recursos Hídricos en 2006 (Cordeiro, 2008). Todos estos hitos, han permitido esclarecer las competencias de las administraciones del país en materia de aguas y fijar unas políticas y líneas estratégicas, que afectan directamente a la producción agrícola, y en concreto a la de biomasa para la producción de etanol. Esto es debido a que durante el análisis del Plan Nacional se tuvieron en cuenta aspectos como las demandas consuntivas por región y por uso, los caudales específicos o la demanda para regadío por unidad de área. Sin embargo, y al igual que en muchos países, es difícil asegurar la coordinación entre administraciones que ostentan competencias diferentes pero tan directamente ligadas como la agricultura o la gestión del agua. Paralelamente, es verdaderamente complejo controlar las extracciones ilegales de agua así como los vertidos y focos de contaminación que se producen a menudo en los cauces y aguas subterráneas.

3. Producción de bioetanol en Brasil e impactos asociados

Introducción a los biocombustibles y al bioetanol

En los países desarrollados el número de vehículos privados por persona se acerca a la unidad, y aunque la cifra es mucho menor en países en vías de desarrollo, se

prevé en éstos un aumento progresivo de esta relación. Para obtener la gasolina necesaria para el uso de estos vehículos, se estima que se utiliza el equivalente de unos 20 millones de barriles de petróleo por día. Esta necesidad y la localización del petróleo en sólo ciertas regiones del planeta, hace que éste sea un bien preciado, que afecta a los mercados internacionales, y que hace dependientes a numerosos países (Goldemberg, 2006). En Brasil, y a raíz de la crisis del petróleo de los 70, el Gobierno decidió desarrollar dos programas principales: una completa prospección dentro de su territorio (principalmente en la corteza continental) y la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar, con objeto de reducir su dependencia de otros países (Programa PROALCOHOL). Este último programa introdujo la obligación de mezclar un 10% de bioetanol en la gasolina, acción que no requería ningún cambio en los motores de los vehículos, y el uso voluntario de un 100% de etanol en motores adaptados.

Actualmente en Brasil, mediante adaptaciones mínimas en los vehículos que requieren gasolina, entre el 20 y el 26% utilizan mezclas de fueles con bioetanol (Goldemberg, 2006).

Para entender los procesos e impactos derivados de este tipo de uso es importante entender conceptos como: bioenergía, biocombustibles líquidos, biodiesel y bioetanol. La *bioenergía* es aquella producida a partir de biomasa, que se comprende como cualquier tipo de material orgánico incluyendo madera carbón, cultivos, desechos agrícolas o forestales, estiércol etc. *Biocombustible*, es por tanto, el combustible obtenido a partir de la biomasa, siendo el bioetanol un tipo muy extendido, especialmente como carburante en vehículos. El *bioetanol*, en concreto, es un alcohol derivado del azúcar o el almidón que puede ser utilizado de manera pura, en motores con diseños adaptados, o mezclado con gasolina u otros derivados del petróleo. El bioetanol se obtiene principalmente a partir de especies como la caña de azúcar, la remolacha, el sorgo, los cereales (especialmente el maíz), la jatrofa, la patata, la palma, el sorgo, la yuca o mandioca, mediante el proceso de fermentación, obtención de alcohol etílico y posterior procesamiento. De la biomasa se extrae la celulosa y hemicelulosa. Mediante hidrólisis y fermentación se extraen azúcares, se separan los residuos de la celulosa no hidrolizada, y tras la destilación se obtiene el fuel (SIDA, 2009; OECD/IAE 2007). Además, existe una diferenciación entre *biocombustibles de primera y segunda generación*. Los principales biocombustibles de primera generación son el etanol y el biodiesel. La Segunda generación de biocombustibles comprende aquellos derivados de materiales con alto contenido en celulosa, como la madera, o los desechos forestales, agrícolas, domésticos o a partir de algas, y es en este grupo donde se engloba el bioetanol. Se estima que este tipo de biocombustibles sean competitivos alrededor del año 2020 (SIDA, 2009), aunque actualmente para Brasil ya supone un buen porcentaje del uso de carburantes.

Algunas ventajas del uso del bioetanol incluyen la mejora en la biodegradabilidad de la gasolina en agua y suelos, la reducción de emisiones tóxicas a la atmósfera (CO, NOx y partículas en suspensión), la mejora en el índice de octanos, el aumento del calor de vaporización y mejor combustión al necesitar menos aire (Best, 2009; OECD/IEA 2007; Carvalho, 1998).

Cabe destacar, que los biocombustibles sólo ocupan entre el 1 y el 2% de la demanda mundial de combustibles para el transporte, pero éstos han crecido rápidamente en los últimos años (Righelato, 2007), y dentro de las diferentes fuentes

para la obtención de energía, comienzan a ser competitivos y claves para ciertas economías emergentes, como la de Brasil. En cualquier caso, se estima que para desplazar un 10% de la producción global del petróleo, la producción en Brasil debería incrementar por un factor de aproximadamente 40 o 50 (Marris, 2006; Goldemberg, 2006). También se debe mencionar que la principal fuente de energía en el país sigue siendo mayoritariamente la hidroeléctrica, con una producción de 437,3 billones de KWh, por encima del consumo requerido, y permitiendo importantes exportaciones a países vecinos (CIA, 2009). Aún así, las recurrentes sequías y el descenso en caudales de los principales ríos, hacen que la producción en las plantas hidroeléctricas haya descendido y que en repetidas ocasiones no se pueda asegurar el abastecimiento a las poblaciones.

Como se ha mencionado, la dependencia energética de Brasil de otros países, y los impactos que producían las variaciones de precios y crisis económicas globales, llevó al país a explorar otras fuentes para asegurar cierta autosuficiencia. La apuesta por una energía obtenida mediante fuentes renovables, y de bajo coste, dadas las facilidades del país como mano de obra barata, grandes extensiones y suelo y clima adecuado, se convirtió en una opción con importantes efectos en la economía nacional.

De hecho, la producción de bioetanol en Brasil a partir de caña de azúcar se considera la más eficiente energéticamente, en comparación con otros biocarburantes, debido al procesamiento eficiente, las óptimas condiciones que presenta el país para el cultivo de esta especie, el trabajo manual que implica, así como los incentivos políticos y las subvenciones del gobierno existentes desde los años 70. A pesar de las grandes empresas establecidas, se ha logrado que el 30-35% de la producción se realice en explotaciones de menor escala. La producción del etanol ha creado cerca de 1 millón de oportunidades de empleo, que dependen del grado de mecanización aplicado, y se ha reducido la dependencia de la importación de petróleo y la exposición a la volatilidad de los precios internacionales (SIDA, 2009).

Al mismo tiempo, y como se detalla en el apartado de externalidades sociales, la tendencia a producir caña de azúcar a modo de monocultivo en explotaciones de gran escala, ha provocado el desplazamiento de poblaciones, incrementado la competencia por el suelo, así como los conflictos sociales, y afectado posibles reformas pro el derecho de las tierras. Las condiciones laborales en este sector agrario, no han sido óptimas por lo general, presentando salarios bajos con poco o nulo acceso a servicios sociales o sanitarios, así como riesgos para la salud humana ligados a la quema de los campos (SIDA, 2009).

Desde los años 70 el gobierno brasileño aplicó importantes subsidios para fomentar el uso del bioetanol y aplicó préstamos "blandos" para la producción de caña de azúcar y la implantación de molinos y sistemas de refinamiento. Se estima que las inversiones en los sectores agrícolas e industriales para el bioetanol entre 1975 y 1989 ascendieron a casi 5 billones de dólares (según valor de 2001). En contra posición, la reducción de importaciones de petróleo se tradujo en un ahorro de aproximadamente 52 billones de dólares (según valor de 2003) entre 1975 y 2002 (Goldemberg, 2006).

Producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar

Para la obtención de bioetanol se requiere una importante producción de caña de azúcar mediante la disponibilidad de suelo, agua y pesticidas principalmente. En comparación con otras especies, la caña es una especie eficiente en cuanto a la producción de azúcares y celulosa (combinación perfecta para los procesos de fermentación). Además, el suelo requerido no tiene por qué ser especialmente rico, y el clima tropical y subtropical del país han favorecido su crecimiento, la obtención de bioetanol y su posterior uso en el transporte, principalmente en vehículos privados.

La producción de biocombustible a partir de masa vegetal se produce mediante el cultivo y procesamiento de diferentes especies como se ha mencionado. Sin embargo, la obtención de biodiesel a partir de caña de azúcar ha sido comprobada como la más eficiente energéticamente, en comparación con cultivos como el maíz o la remolacha, en cuanto a la producción total y emisión de gases de efecto invernadero (Wang, 2006).

La producción total anual que se produce en Brasil es de 17 billones de litros (Lee y Bressan, 2006). Mientras que la eficiencia energética es muy alta, el coste de producción es bastante reducido en comparación con otros cultivos y con la producción realizada en otros países.

Como ocurre ante cualquier cultivo, el uso del agua en la producción es un aspecto importante a considerar. El uso de recursos hídricos en la producción del bioetanol, no se aplica únicamente para el crecimiento del cultivo en sí, sino también en la limpieza de la caña una vez cosechada y en el enfriamiento de los procesadores. Y desgraciadamente, el cultivo no siempre se da en aquellas regiones del país que tienen excedentes de agua para satisfacer las demandas agrícolas (y en este caso, energéticas).

Volviendo a la eficiencia energética del cultivo, no sólo se utiliza la celulosa y los azúcares de la planta para la obtención de combustible, también la utilización de deshechos permite la generación de energía. Se aprovecha, por ejemplo, tanto la melaza como el bagazo (subproducto fibroso o pulpa sobrante del procesamiento de la caña). También los residuos finales tras la destilación, son utilizados en los campos como fertilizantes a base de Potasio (Marris, 2006).

Inicialmente, en los procesos de producción se requería de carburantes de origen fósil. Sin embargo, el uso del bagazo se empezó a utilizar también para la producción de energía, abaratando el coste de todo el proceso, convirtiéndolo en el más eficiente en el sector de biocombustibles: logrando 10 unidades producidas por input (Goldemberg, 2006).

Brasil: mayor productor global de bioetanol

Como se ha explicado, la producción en comparación con otros países, es especialmente ventajosa en Brasil, dado el bajo coste de producción que mantiene, las extensiones de suelo agrícola que posee y su potencial, la mano de obra barata, y los programas gubernamentales con incentivos y ayudas económicas. Actualmente, hay más

de 8 millones de hectáreas de cultivo de caña de azúcar, aunque países en vías de desarrollo como India o China se aproximan tanto en área cultivada como en producción (ver tabla 1). Se calcula que la producción de etanol por hectárea de caña de azúcar es de 6.000 litros, mientras que la proveniente de maíz es de aproximadamente 3.500 litros. En el mapa 3 se muestra además la producción de caña en el país del año 2005, obtenido del *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. En cuanto al coste, se estima que el litro equivalente de bioetanol es de 0,3\$ FOB (el comprador asume los gastos posteriores a la entrega), mientras que los de gasolina están en torno a los 0,3 y 0,4\$. Otras regiones y países, alcanzan precios de 0,4 y 0,5, pero hay todavía potencial para bajar los precios de producción (OECD/IEA, 2007).

Una vez producido el combustible, su almacenamiento y distribución deben ser asegurados para lo que se requieren importantes infraestructuras. Brasil presenta la mayor producción de etanol con menores costes del mundo. Por otro lado, sus grandes extensiones, siendo una ventaja por la disponibilidad de suelo, suponen al mismo tiempo una desventaja para la distribución del combustible. La producción tiene lugar en una red fragmentada, y con infraestructuras de distribución limitadas que en el futuro, es probable que afecten directamente al coste de producción en comparación con otros países. Como se ha indicado la producción actual es de aproximadamente 17 billones de litros, y de éstos, unos 14 son para el consumo doméstico (Assis, et al. 2007).

Aún así, la apuesta del bioetanol presenta claras ventajas como, su competitividad frente al petróleo, la actividad económica asociada a la producción, el incremento de seguridad energética, al depender en menor medida de exterior o la generación de empleo, tanto en el sector agrícola, como en el tecnológico y empresarial. En definitiva, las exportaciones del carburante al resto del mundo producen importantes beneficios económicos para el país, y su uso nacional se traduce en una menor dependencia del petróleo, a partir de un cultivo eficiente y fácilmente adaptado al clima y suelo del país.

En cuanto a las emisiones de CO₂ comentadas más adelante como externalidades, cabe mencionar que en cualquier caso, el uso de biocombustibles presenta importantes resultados favorables en comparación con el uso del petróleo. La producción de bioetanol, si se utiliza bagazo como fuente de energía durante el mismo, puede resultar en emisiones de 0,2-0,3 KgCO₂/l, comparados con los 2,8 KgCO₂ /l de la gasolina convencional. Es decir, se puede llegar a obtener un 90% menos de emisiones (OECD/IEA, 2007). La producción de bioetanol, puede, por tanto, generar beneficios climáticos importantes al sustituir el uso de combustibles fósiles. Sin embargo, deberá evitarse la pérdida de biodiversidad y el impacto producido en otros servicios ambientales durante la producción de caña de azúcar, para asegurar una reducción real de las emisiones (Fearnside, 2009).

Además de los beneficios económicos del uso doméstico y de la exportación del bioetanol, las actividades agrarias asociadas pueden proporcionar un beneficio para las comunidades locales. El cultivo de caña de azúcar repercute de manera positiva en las comunidades, y en la economía general del país, al crear puestos de trabajo en zonas rurales con pocas oportunidades laborales. De hecho, se estima que la producción de biomasa para la generación de energía en el país emplea a 500.000 personas (aunque las oportunidades son mayores como se ha indicado previamente), una cifra por encima de las registradas en países como EE.UU., China o Alemania, y bastante elevada en comparación con otros sectores renovables en ámbito global (ver figura 1).

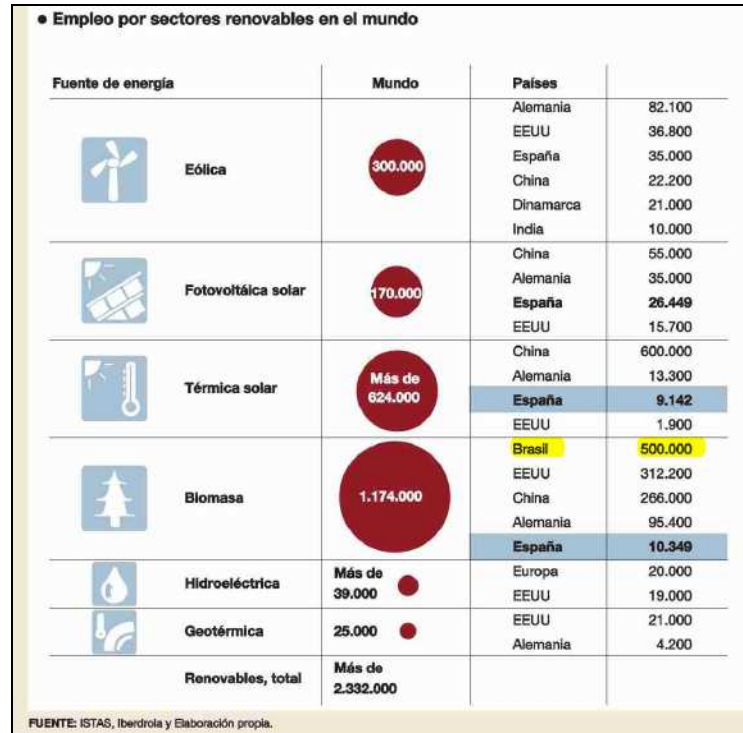


Figura 1: Empleo por sectores de fuentes renovables (El Mundo, 2008)

Por otro lado, el uso de bioetanol en otros usos domésticos, como calentadores de agua, transformadores, o generadores de electricidad, que puede ser especialmente útiles en zonas rurales y sin acceso a la red eléctrica, se puede traducir en una menor presión en los recursos forestales, tradicionalmente utilizados en estos ámbitos.

También la flexibilidad que proporciona el bioetanol supone una gran ventaja. Los usuarios tienen la libertad, al utilizar vehículos con motores híbridos, de elegir el grado o porcentaje del uso del combustible. Esto además, proporciona ciertas ventajas económicas y mayor flexibilidad energética al gobierno: a mayor disponibilidad de petróleo y menores precios, menos uso directo del bioetanol se deberá hacer. Por el contrario, en momentos de escasez y altos precios, tendrá a su disposición un biocombustible de fácil acceso para el uso doméstico.

La continuidad de la competitividad brasileña en el mercado global dependerá, de varios factores, pero en gran parte de la aplicación de nuevas tecnologías en el tratamiento del bagazo (Assis, et al. 2007), cosecha, procesamiento y distribución.

Externalidades de la producción: Impactos sociales, ambientales e hídricos

Como en cualquier uso de una fuente energética y proceso de producción asociado, la elaboración del bioetanol a partir de la caña de azúcar provoca diferentes impactos sociales, ambientales e hídricos que no deben ser ignorados. Quizá el más preocupante para las autoridades y entes sociales es el desplazamiento de poblaciones rurales. Este es un fenómeno ligado a cualquier actividad agropecuaria, no únicamente al cultivo de caña de azúcar. Aunque las importantes y largas extensiones necesarias para su producción, que requiere a menudo englobar parcelas de menores dimensiones que ya estaban siendo utilizadas para la producción de alimentos, añade un agravante a los problemas brasileños ligados a la propiedad de las tierras, la superpoblación de las urbes, la expansión de las zonas cultivadas e irrigadas hacia el noroeste del país y a la consecuente presión sobre la región Amazónica.

La transformación en el uso del suelo, pasando de tierras que anteriormente producían alimentos a unas dedicadas a la producción energética está siendo causa de numerosos debates internacionales. Esto además, podría dar lugar a un incremento de precios en los alimentos básicos, como ya está ocurriendo en el mercado del azúcar (OECD/IEA, 2007; IWMI, 2008). Además, la tendencia parece indicar que la producción de caña empuja los pastizales, ganado y el cultivo de otras especies hacia la zona de la Amazonía, ejerciendo aún mayor presión sobre ésta (Fearnside, 2009).

La actual recesión económica, la volatilidad de los precios de los productos agrícolas en los mercados internacionales, y la creciente disparidad entre países desarrollados y en vías de desarrollo, hace plantearse hasta qué punto los gobiernos deben priorizar la producción de biomasa para producción energética. Se debe plantear cómo encontrar el equilibrio para que la reducción en la producción de alimentos no genere una mayor dependencia del exterior, y en definitiva, los beneficios económicos de producción de bioetanol no se vean contrarrestados por el descenso en la seguridad agroalimentaria.

Por otro lado, si el cultivo de caña se produce en zonas que no estaban previamente cultivadas pero sí poseen una masa forestal, o riqueza ecológica, se añade otro problema más. Las tendencias indican que cada vez se extienden más las zonas cultivadas hacia el noroeste, deforestando progresivamente el país, reduciendo su biodiversidad y perdiendo servicios ambientales de los ecosistemas especialmente valiosos para las poblaciones locales. Todo ello, aunque difícilmente cuantificable y rara vez aplicado tanto a las cuentas económicas del país como al cálculo del PIB, generará a largo plazo importantes pérdidas económicas y reducción de coste oportunidad para otras actividades como la venta de bonos por emisiones de CO₂.

Los conflictos sociales en torno a la posesión y explotación de tierras en Brasil son ampliamente conocidos. Las poblaciones rurales han subsistido durante décadas del cultivo mediante rotación de parcelas y aplicando la técnica de *tala y quema*. Aunque el país, cuenta con una mezcla de extensas producciones agrícolas, con otras de menor tamaño gestionadas localmente y en cooperativas, la falta de titularidad de tierras entre los sectores más pobres, o la posesión de gran parte de las extensiones cultivables en manos de poderosos terratenientes no ha hecho más que incrementar la disparidad entre clases sociales.

En cuanto a los numerosos impactos ambientales, algunos producidos claramente por la producción de la caña de azúcar, incluyen la contaminación de los recursos hídricos y la erosión del suelo. El cultivo de la caña requiere de importantes aportes de fitosanitarios. La aplicación de fertilizantes, a base de nitrógeno y fósforo, produce graves problemas de contaminación difusa, tanto en aguas superficiales como subterráneas, siendo estas últimas aún más frágiles debido a los lentos procesos de recarga de los acuíferos. Estos problemas de contaminación hídrica producen, a su vez, impactos económicos negativos: mayor necesidad de depuración en los cursos de aguas superficiales, aplicación de tratamientos a la hora de utilizar aguas subterráneas especialmente para abastecimiento de poblaciones, o incluso inhabilitación de acuíferos debido a los altos contenidos de nitratos y fosfatos. Cuando las administraciones hidráulicas no tienen capacidad para tratar y depurar las aguas, o cuando se producen extracciones hídricas de manera local, los pesticidas y fertilizantes provocan además problemas de salud, tanto por el consumo directo del agua, como por la contaminación de hortalizas.

Por otro lado, no hay que olvidar que la caña de azúcar es una especie invasora y agresiva, proveniente del sureste asiático, y por tanto, no autóctona de América. La utilización de esta especie como monocultivo en largas extensiones, reduce la biodiversidad de los campos, desplaza y afecta a especies animales, altera ecosistemas, y provoca empobrecimiento y erosión del suelo (Wang, 2006). Estos últimos problemas, se deben en gran parte a la disminución de aportes de materia orgánica al suelo, que no ocurriría tanto con rotaciones o combinación de especies, y a la desprotección del suelo durante la recogida de la caña. Si a esto añadimos la selección, e incluso alteración de especies de caña de azúcar para incrementar su resistencia a plagas o falta de agua, habría que evaluar la utilización de organismos genéticamente modificados (OGMs) en la agricultura, y los posibles impactos asociados que podrían afectar tanto a la fauna como a la flora que estuviera en contacto.

Asimismo, se produce una contaminación local del aire debido a la quema de residuos de la caña de azúcar (Wang, 2006), aunque nuevamente este problema tiene lugar con la mayor parte de los cultivos tradicionales. A pesar de la creencia generalizada de que la quema de residuos tras la cosecha es beneficiosa para el suelo por el retorno de nutrientes mediante las cenizas, el aporte es mucho menor que si los residuos se dejaran descomponer de manera natural. También la desprotección del suelo tras la quema, acelera la erosión del mismo por los impactos de las gotas de agua o el viento.

En cuanto a las emisiones de CO₂, el uso de caña de azúcar para la producción de biodiesel frente al petróleo permite una reducción de las mismas, al utilizar fuentes renovables (luz solar, y hasta cierto punto, recursos hídricos) y permitir la fijación de Carbono durante el crecimiento del cultivo y en el suelo. Tal y como se ha comentado, la caña es especialmente efectiva en fijar Carbono al pertenecer al grupo de plantas C4. Sin embargo, estos efectos positivos, se pueden ver contrarrestados como también se ha señalado, en el caso de que el cultivo de la caña de azúcar desplaze zonas boscosas o ejerza mayor presión sobre la Amazonía. La producción si lleva asociada la pérdida de masa forestal, las emisiones evitadas a partir de etanol o biodiesel en gran medida se ven compensadas por las pérdidas de carbono a la atmósfera por la tala de árboles. La disminución de emisiones de CO₂ dependerá, en gran medida, de que la producción se realice en zonas que ya poseían actividad agrícola y no en zonas forestales en las que

además se estarían perdiendo otros servicios ambientales de los propios ecosistemas (Righelato, 2007)

En relación a los impactos específicos en el medio hídrico, cabe destacar que el cultivo de la caña de azúcar, tanto en centro-occidental como en el noreste de Brasil, está produciendo progresivamente una mayor demanda de agua en zonas que ya de por sí tenían un balance hídrico delicado o incluso sufrían escasez de agua. Esto produce a su vez competencia entre los diferentes sectores consumidores de agua. Es decir, en casos concretos, y ante la escasez de agua, las administraciones competentes deberán priorizar los usos del agua.

Según activistas ecologistas, en el área de Cerrado (la sabana Brasileña en el noreste del país), importantes volúmenes de agua están siendo utilizados en las plantaciones de caña de azúcar, desplazando tierras para la producción de alimentos y destruyendo zonas forestales. Afirman que parte de las dotaciones del río San Francisco se han efectuado sin ninguna licencia ni estudio de impacto ambiental. La producción de caña, al conllevar un uso elevado de pesticidas y fitosanitarios, puede provocar problemas de salud en las personas. Además, la producción de etanol conlleva el uso de grandes extensiones con acceso a agua e infraestructuras necesarias para la distribución del fuel, lo cual produce asimismo impactos medioambientales (Mendonça, 2009).

La utilización del agua para regar mayores extensiones de cultivo de caña de azúcar se traduce en un descenso en de los caudales naturales lo que produce a su vez impactos asociados en los ecosistemas acuáticos (como por ejemplo humedales), conflictos sociales al disminuir la disponibilidad del recurso aguas abajo, e incluso puede afectar a la recarga natural de los acuíferos. La caña es además un cultivo con una alta demanda de agua. Se calcula que la biomasa requerida para producir un litro de bioetanol evapora entre 1.000 y 4.000 litros de agua. Sin embargo, en Brasil, las abundantes lluvias hacen que en la mayor parte de los casos el riego no sea requerido, cosa que no ocurre en países como China o India. En la India la práctica totalidad del cultivo es irrigado, mientras que en china se calcula el 45% (de Fraiture, 2007).

Como se ha mencionado anteriormente, la producción de caña provoca problemas de contaminación difusa de aguas superficiales y subterráneas por nitratos y fosfatos, y puntual debido a vertidos de fitosanitarios. También se han registrado vertidos accidentales tanto de bioetanol como de vinaza (otro residuo de la producción como el bagazo), causando importantes daños ecológicos en ríos y mortandades de peces (Ottinger, 2007).

Todos estos problemas han sido ya detectados y ampliamente documentados. De hecho, la mayor parte de exigencias mínimas para una adecuada producción de energías renovables (uso adecuado de suelo y agua, control de emisiones etc.) se está viendo ya reflejada en la legislación comunitaria, así como en los objetivos de la Comisión Europea de aplicar sistemas de certificación ambiental. El objetivo de estas políticas es garantizar la sostenibilidad de los procesos de producción, tanto en ámbito comunitario como en la comercialización de bioetanol importado, por lo que Brasil, podrá evaluar la utilidad de esta reciente legislación, y se verá además afectado en el futuro por las exportaciones del biocombustible a países comunitarios (EC, 2009; BQE, 2010).

Impactos del cambio climático

Dada la estrecha relación entre disponibilidad de recursos hídricos y la producción de bioetanol, habrá que considerar los posibles efectos del cambio climático en la región. Según el informe del IPCC (2001), en la región de Sudamérica y en concreto para Brasil, el aumento de la temperatura ligada al cambio climático prevé un mayor número de fenómenos extremos, un aumento en su intensidad, y una disminución de los recursos hídricos disponibles. En concreto, se prevén variaciones en las precipitaciones, con descensos en la parte central, centro-oeste y centro-sur, y disminución en los caudales. Aún así, se prevé que la progresiva deforestación agrave aún más la situación, alterando considerablemente el ciclo hidrológico. También destaca el informe, que cualquier alteración climática, dada la situación ya de por sí delicada en el noreste con recurrentes sequías y altos índices de pobreza, generará impactos sociales y agrícolas.

El efecto del cambio climático, afectará por tanto a la disponibilidad y distribución de los recursos hídricos, y a su vez a la producción de cultivos. Las situaciones de escasez de agua y sequías se verán muy probablemente agravadas, y serán importantes factores a tener en cuenta en la planificación y gestión hidrológica. Esto se traducirá en mayores demandas por un recurso cada vez más escaso, lo que afectará a las prioridades gubernamentales (Estrela y Vargas, 2008). Brasil deberá plantearse aspectos como la priorización del abastecimiento público de agua, o la producción de alimentos frente a la seguridad energética (IWMI, 2008).

Por otro lado, y según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento de Brasil, el aumento previsto de temperaturas beneficiaría en general a la caña al disminuir el riesgo de heladas en ciertas zonas de alto riesgo. Esto favorecería al cultivo y su producción, principalmente en Rio Grande do Sul (región sur, limítrofe con Uruguay y Argentina), la cual podría albergar importantes zonas potenciales de cultivo en 10 ó 20 años. Las zonas del centro-oeste que actualmente son muy productivas permanecerían como áreas de riesgo bajo para los posibles impactos del cambio climático, pero conllevaría una mayor dependencia del agua de riego (Embrapa, 2010). En cualquier caso, las alteraciones climáticas afectarán tanto a la disponibilidad de agua como a la distribución y producción de cultivos, por lo que deberán tenerse en cuenta en las políticas agrarias, energética e hídricas.

Expectativas y posibles mejoras en la producción y utilización del bioetanol

Al igual que en otras técnicas de producción, y a pesar de contar con la mayor producción global de bioetanol, existen diferentes mejoras en los procesos de obtención y utilización del biodiesel que pueden aplicarse para asegurar la competitividad de Brasil en el sector energético a largo plazo.

En este sentido, los aspectos tecnológicos serán clave en los años futuros. Tanto la mejora en las técnicas de cosecha de la caña, y tratamiento y aprovechamiento del bagazo, como el aumento y modernización de los molinos de procesamiento y destilación, se podrán traducir en una mayor eficiencia en la producción logrando costes económicos y energéticos aún más bajos. Estas mejoras incluyen la mecanización de la recogida de la caña, mejor aplicación de tecnologías de riego y fertilización, así como mejora y aumento del número de molinos o plantas de tratamiento (Assis, et. al. 2007)

En cuanto a las infraestructuras de distribución, con una mayor producción para seguir compitiendo en el mercado global, se necesitarían miles de kilómetros adicionales de tuberías de distribución, así como mayores espacios de almacenamiento en las refinerías (todo ello, con un coste asociado que se deberá evaluar). Aún así, se prevé que los costes se mantengan competitivos. Según Assis et al. (2007), se prevé que el coste final para el consumidor europeo de un litro de etanol brasileño para el año 2020 (producción, transporte, pago de impuestos, y suministro) sería de 0,73\$, cuando el coste actual ronda en torno a los 1,60\$.

También la rotación de cultivos, evitando los impactos previamente descritos principalmente en los recursos hídricos, el suelo y el aire, asociados a las largas extensiones de monocultivos, y un mayor control en el uso de pesticidas y fertilizantes, reducirían las externalidades de la producción.

Otro aspecto a considerar, son las cuentas satélite (contabilidad ambiental) dentro del Sistema de Cuentas Nacionales. La utilización y ampliación de estas cuentas, tal y como recomienda Naciones Unidas, permitirá al gobierno brasileño mejorar la metodología y la valoración del daño ambiental, y enlazar los indicadores de rendimiento económico de la producción del bioetanol con los índices de presión sobre el medio ambiente. En estas cuentas, el agua, la atmósfera, los bosques o el suelo, por ejemplo, pasarían a ser considerados activos económicos.

4. Conclusiones

La apuesta de muchos países, incluido Brasil, por el uso de fuentes energéticas alternativas es cada vez más una realidad. La inestabilidad económica, la dependencia de importaciones energéticas procedentes de otros países, los conflictos políticos ligados a esta, y los impactos que produce la producción y uso de fuentes no renovables, como el petróleo, son factores que han influido en la toma de decisiones y en el establecimiento de un plan energético a largo plazo en Brasil que incluye un importante uso del bioetanol.

La principal fuente de energía en Brasil sigue siendo renovable: la hidroeléctrica. Sin embargo, las recurrentes sequías y el descenso en caudales de los principales ríos, hacen que la producción en las plantas hidroeléctricas haya descendido y que en repetidas ocasiones no se pueda asegurar el abastecimiento a las poblaciones.

El bioetanol, obtenido principalmente a partir de caña de azúcar, aunque para un uso más bien restringido, como en vehículos, ha influido en el mercado energético, de transporte, y generado empleo en el sector agrícola, que cada vez más se ve afectado por la despoblación y la emigración a las urbes.

Este biocombustible, no supone una única solución para toda la demanda energética de este país de dimensiones enormes y de casi 200 millones de habitantes. Sin embargo, representa una alternativa competitiva al petróleo en el sector del transporte que no debe ser menospreciada, y que, producido bajo ciertos criterios de sostenibilidad, genera importantes beneficios económicos, menos emisiones de CO₂ y un importante porcentaje de empleo en el sector agrario y energético. Su producción, incentivada y subvencionada por el gobierno brasileño, ha incrementado de manera

sustancial en los últimos años. Actualmente, Brasil es el país que más produce y más exporta bioetanol.

Las ganancias económicas son muchas y se traducen también en los beneficios que supone reducir la dependencia de la importación de petróleo de otros países”, en vez de “Las ganancias económicas son muchas y se traducen también en los beneficios que supone reducir la dependencia de la importación de petróleo de países como EE.UU. A pesar de estos aspectos positivos, los costes ambientales y sociales son evidentes. En cuanto a las externalidades ambientales, cabe destacar el uso de pesticidas y fitosanitarios que contaminan aún más las masas de agua en un país que carece de las requeridas infraestructuras de tratamiento, saneamiento y reutilización. Asimismo, su uso puede producir el desplazamiento de especies, la transformación de zonas naturales de alta biodiversidad en monocultivos, la extracción incontrolada de recursos hídricos de cauces y acuíferos en las zonas más áridas entre otros problemas.

En cualquier caso, habrá que realizar un balance, difícil de obtener, entre los beneficios económicos y energéticos frente a coste social y ambiental que supone la producción de bioetanol (mediante herramientas como las cuentas satélite para el agua y los cultivos). El futuro del bioetanol en Brasil es más bien incierto, y dependerá en gran medida de la mecanización y de las nuevas tecnologías para incrementar eficiencia en la producción, almacenaje y transporte y mantener bajos costes. Aunque puede continuar representando una producción rentable y competitiva en el mercado global energético, no queda lejos de las producciones de países como India, China o EE.UU. Además, uno de los aspectos que más abarata su producción es el cultivo en grandes extensiones, controladas por pocos empresarios que a menudo se aprovechan de las precarias situaciones laborales de los agricultores brasileños. Aunque, a menudo, estas producción se mezcla con pequeñas extensiones locales y cooperativas que son apoyadas y promovidas por el gobierno.

Para seguir contando con una producción rentable y sostenible de este biocombustible, el gobierno brasileño deberá asegurar y controlar la elección de las tierras más adecuadas para el cultivo de la caña de azúcar, teniendo además en cuenta los futuros impactos del cambio climático. Es decir, tendrá que seleccionar zonas no pobladas por personas que puedan sufrir desplazamientos involuntarios, que no contengan un alto valor ecológico, con suficiente aporte natural de recursos hídricos además de acceso a líneas de distribución. Un ejemplo de ello podrían ser zonas cultivables en desuso.

La Administración brasileña deberá ser capaz de aplicar la legislación ambiental y en materia de aguas existente, exigir su cumplimiento, y controlar tanto la aplicación de pesticidas, como la contaminación puntual y difusa de las masas de agua durante el cultivo y procesamiento de la caña de azúcar para evitar altos costes ambientales a largo plazo. Asimismo, el hecho de que se generen puestos de trabajo en zonas rurales y agrícolas gracias a la producción de bioetanol, deberá ir acompañado de la salvaguarda de los derechos mínimos de los trabajadores. Todavía el país cuenta con un gran potencial de expandir los cultivos sin desplazar la producción de alimentos ni presionar aún más sobre las regiones de selva tropical. Sin este tipo de medidas, los costes ambientales y sociales de la producción del bioetanol, contrarrestarán los posibles beneficios económicos y energéticos. Por otro lado, el uso de legislación específica para

fuentes renovables y la aplicación de sistemas de certificación ecológica, como se empieza a aplicar en la UE, asegurarían la sostenibilidad de la producción del bioetanol.

Referencias

Assis, V. *et al* (2007). Positioning Brazil for biofuels success. The McKinseyQuarterly. Special edition: shaping a new agenda for Latin America.

Best (2009). BioEthanol for Sustainable Transport. Results and Recommendations from the European BEST project. Environment and Health Administration, City of Stockholm. ISBN 978-91-85125-40-1.

BQE (2010). Bulletin Quotidien Europe N° 10156, 10 juin. (EU) UE/Biocarburants : vers de nouvelles règles pour garantir la durabilité. Agence Europe.

Balat M, y Balta H (2009). Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. Applied Energy 86 (2009) 2273–2282.

Carvalho, L.C (1998). Liquid Biofuels in Brazil. UNICA-Sao Paulo Sugarcane Agroindustry

Cordeiro, O. (2008). Agencia Nacional de Aguas –ANA-. Ponencia elaborada para el Seminario sobre planes nacionales de recursos hídricos en el contexto iberoamericano. Lima, Perú, 3-4 marzo. Formulación e implantación del Plan Nacional GIRH en Brasil.

De Fraiture, C. (2007). Biofuel crops could drain developing world dry. Red de Ciencia y Desarrollo. SciDev.Net

EC, (2009). Directiva 2008/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento de uso de energía procedente de fuentes renovables por la que se modifican y derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.

El Mundo (2009). Extra, 20 Aniversario 1989/2009. Energía.

Estrela T., y Vargas E. (2008). Los Problemas del Agua, Una visión global sobre los recursos hídricos disponibles. La Desalación en España, Cap.1. Aguas de las Cuencas Mediterráneas, S.A. (Acuamed). DL M-27347-2008.

Fearnside, P., (2009). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia. Potenciales beneficios e impactos de la producción de biocombustibles en la Amazonía Brasileña.

Goldemberg, J. (2006). The ethanol program in Brazil. Institute of Physics Publishing, Environ. Res. Lett. 1. 014008 (5pp).

IWMI, (2008). International Water Management Institute. Water implications of biofuel crops: understanding tradeoffs and indentifying options. Water policy brief. Issue 30.

IPCC (2001). Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 14 Latin America.

Lee, T.S.G. y Breesan, E.A. (2006). The Potential of Ethanol Production from Sugarcane in Brazil. SSRP. Sugar Tech 8(4).

Marris, E. (2006). Drink the best and drive the rest. Brazil's sugar-cane ethanol industry is the world's best and able to get better. *Nature*. Vol 444/7.

Mendonça, M.L. (2009). Brazil: Sugar cane plantations devastate vital Cerrado region. *Agroenergy and alternatives*. Pacific Ecologist.

OECD/IEA (2007). Biofuel Production. IEA Energy Technology Essentials. January 2007.

Ottinger, R. L (2007). Biofuels-Potential, Problems & Solutions. Biofuels Conference.

Righelato, R. (2007). ¿Mitigación de carbono por biocombustibles o por salvar y restaurar bosques? World Land Trust.

SIDA (2009). Biofuels-Potential and Challenges for Developing Countries. SwedBio. EIA Centre. Facts from Swedbio no3.

Wang, M. (2006). Learning form the Brazilian biofuel experience. Center Institute of Physics Publishing, Envrion. Res. Lett. 1. 011003 (2pp).

Páginas web de consulta

Agencia Nacional de Agua (ANA). Brasil, 2008. <http://www.ana.gov.br/>

Embrapa. Informática Agropecuaria. Ministério da Agricultura, Pecuária, y Abastecimiento, 2010. <http://www.cnptia.embrapa.br>

Central Intelligence Agency (CIA), 2009. The world factbook. Country reports: Brazil. <http://www.cia.gov>

Confederación Hidrográfica del Ebro, (CHE), 2010. <http://www.chebro.es>

FAOSTAT, 2009. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Aquastat, 1999: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>; Agris International Information System for the Agricultural Sciences and Technologies, 2009. <http://agris.fao.org/>

Instituto Nacional de Estadística (INE), 2010. <http://www.ine.es>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2010: <http://www.ibge.gov.br>

La Guía 2000: <http://geografia.laguia2000.com/climatologia/brasil-clima>

Figuras y mapas

Fotografía de portada: elaboración propia. Rio de Janeiro, noviembre 2009.

Mapa 1. Fuente La Guía 2000: <http://geografia.laguia2000.com/climatologia/brasil-clima>

Gráfico 1. Fuente, ANA 2008.

Fotos caña de azúcar. Fuente Best 2009 y Embrapa 2010.

Tabla 1. Elaboración propia. Fuente FAOSTAT 2009.

Mapa 2. Fuente ANA 2008.

Figura 1. Figura obtenida del artículo de El Mundo, 2008. Energías Renovables. Motores verdes para la economía (fuentes ISTAS, Iberdrola y Elaboración propia).

Mapa 3. Fuente IBGE, 2005.