

AGRO(*bio*)combustibles Por qué no nos salvarán

Coordinado por *Monica Di Donato*



ARTÍCULO

Crítica y perspectivas de los
AGRO(*bio*)combustibles: el caso de Cataluña en el
contexto español

*Sergio Sastre, Guillermo Peguero, Pedro L. Lomas,
Monica Di Donato*

AGRO(bio)combustibles. Por qué no nos salvarán

Coordina Monica Di Donato

Investigadora y responsable del Área de Sostenibilidad del CIP-Ecosocial

Edita Centro de Investigación para la Paz (CIP-Ecosocial)

C/ Duque de Sesto 40, 28009 Madrid

Teléfono: +34 91 576 32 99. Fax: +34 91 577 47 26

cip@fuhem.es

www.cip.fuhem.es

Introducción

por Monica Di Donato

Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico

por Óscar Carpintero

Producción de agrocombustibles a gran escala en Europa: ventajas y desventajas

por Daniela Russi

Crítica y perspectivas de los AGRO(bio)combustibles: el caso de Cataluña en el contexto español

por Sergio Sastre, Guillermo Pequero, Pedro L. Lomas, Monica Di Donato

Soberanía alimentaria vs. agroenergía

por Tom Kucharz

Apuntes

Costo social de los agrocarburos. Caso de la palma africana en Colombia

por François Houtart

CENTRO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PAZ (CIP-Ecosocial)

El Centro de Investigación para la Paz (CIP-Ecosocial) es un espacio de reflexión, encuentro y debate que analiza las tendencias y los cambios profundos que configuran nuestro tiempo desde una perspectiva crítica y transdisciplinar.

Creado por FUHEM en 1984, se dedicó en sus inicios al análisis de la amenaza que suponía la Guerra Fría. Con el paso de los años, ha abordado la globalización, el sistema multilateral, los derechos humanos, la ecología, las migraciones, las identidades y la educación para la paz y el desarrollo.

Atento a cuestiones emergentes, a partir de 2007, el Centro de Investigación para la Paz reorienta su mirada con un enfoque ecosocial que vincula las relaciones del ser humano con su entorno social y natural. A partir de tres de los grandes retos de la sociedad actual como son la sostenibilidad, la cohesión social y la calidad de la democracia, el Centro establece sus temas centrales.

© FUHEM

Las opiniones del presente documento no reflejan necesariamente las de FUHEM, y son responsabilidad de sus autores.

Se autoriza la reproducción y el uso del presente material, siempre y cuando se citen los autores y la fuente del documento.

Crítica y perspectivas de los AGRO(bio)combustibles: el caso de Cataluña en el contexto español

por Sergio Sastre¹, Guillermo Peguero¹, Pedro L. Lomas², Monica Di Donato³

1. Introducción

El objetivo del crecimiento es invocado desde los ámbitos de planificación económica, como la Estrategia de Lisboa, cristalizada a escala estatal en el Plan Nacional de Reformas, o desde los ámbitos del “medio ambiente”, como se lee en el Informe Brundtland (1989), y es por tanto la pieza central que sostiene la metáfora del desarrollo de las sociedades modernas (Naredo, 2006; Latouche, 2007). Los objetivos energéticos son un claro caso de política subsidiaria, una proyección del crecimiento económico, ante el que se someten, y por el que se ven transformados en una mera discusión sobre los medios con respecto a los fines de la política económica. Así, para crecer en términos de PIB, tal y como se ha venido haciendo y contabilizando hasta ahora, ha sido necesario un aporte adicional neto de energía, aumentando la intensidad energética de dicho proceso de adquisición de riqueza (Ramos-Martín, 2003).

De este modo, el consumo mundial de energía primaria ha aumentado desde 6035 Mtep⁴, en 1973, a 11059 Mtep en el 2004 (IEA, 2006). Sólo los países de la OCDE⁵ han pasado de consumir 3762 Mtep a 5506 Mtep (*Ibid.*). En este sentido, la principal preocupación energética recae en sector transporte. Así, a escala global, este sector ha aumentado su consumo energético de 966,99 Mtep en 1973, a 1974,54 Mtep en el 2004 (IEA, 2006). Basta cruzar estas cifras con los dos datos precedentes de consumo mundial de energía primaria para observar que la porción del sector transporte se mantiene bastante estable en el pastel energético mundial (24,2% del consumo energético mundial en 1973 y 24,7% en el 2004).

Además, el sector transporte continúa siendo el mayor consumidor de derivados de petróleo, al asignarse el 57,7% (1864 Mtep) del consumo final (*Ibid.*), y esta voracidad muestra una clara tendencia al alza. En el 1973, un 93,6% del consumo total de energía del sector transporte provenía íntegramente de derivados del petróleo; en 2004 el porcentaje no ha disminuido sino que ha aumentado a un 94,4%, mientras que en los países pertenecientes a la OCDE, los impulsores de la diversificación energética, se ha pasado del 95,9% al 96,9%, un aumento de 0,2 décimas mayor que para el conjunto del mundo (*Ibid.*). La razón se encuentra en que, a pesar de que las fuentes de energía renovables experimentaron un considerable aumento relativo en los últimos años, el crecimiento en términos absolutos de la demanda energética del sector transporte sobrepasa por completo los denodados esfuerzos por promover fuentes alternativas, produciéndose el conocido como “efecto rebote” o paradoja de Jevons (Martínez-Alier, 1987), según el cual, las mejoras en la eficiencia de un sistema productivo se ven contrarrestadas por un aumento de la producción que diluye el efecto de la mejora.

¹ Investigador en el Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) de la Universidad Autónoma de Barcelona.

² Investigador en el Departamento de Ecología de la Universidad Autónoma de Madrid.

³ Investigadora y responsable del Área de Sostenibilidad del CIP-Ecosocial.

⁴ Mtep = Millones de toneladas equivalentes de petróleo (1 tep = la energía equivalente a la que hay en una tonelada de petróleo).

⁵ Los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OCDE, son: Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, la República Checa, Corea del Sur, Dinamarca, la República Eslovaca, España, los Estados Unidos, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Japón, Luxemburgo, México, Nueva Zelanda, Noruega, Polonia, Portugal, el Reino Unido, Suecia, Suiza, Turquía.

En el contexto europeo, el sector transporte es claramente el sector con la mayor demanda de energía final, consumiendo el 30,4% (datos para la UE-25 en el año 2000, CE 2006), y se estima que incrementará su demanda alrededor del 20,8%⁶ en el período que va del 2000 al 2030, y seguirá ostentando la primera posición en demanda de energía final. No es difícil imaginar que esta tendencia alcista, estimada en un contexto amplio geográfica y políticamente, como es la UE de los 25, será la que seguirán sus distintas regiones, como Cataluña, donde el listón de partida del sector transporte se encuentra en el 37,7% de la demanda total de energía final (datos para el 2003, Generalitat de Cataluña, 2006).

Por tanto, si la premisa de la política energética es asegurarse el suministro estable de esta energía y administrarla, su objetivo está fijado. Así, sólo queda concretar los medios en un contexto institucional. El contexto es amplio y cuenta con un compromiso de reducción de emisiones de CO₂ hacia la Comunidad Internacional.

Para conseguir un aporte de energía renovable en el marco de los acuerdos internacionales, Europa, primero, España y Cataluña, después, se plantean cultivar agrocombustibles para el transporte (Comunicación de la Comisión, 2005). Discutir sobre las expectativas o los problemas de los agrocombustibles es un debate sobre los medios ligados a unos objetivos, y este trabajo se propone llegar a una evaluación de los medios, crítica con los objetivos inerciales de los que nace.

El objetivo general de este trabajo es, en concreto, analizar y discutir las consecuencias que tendría, de llevarse a cabo, el Plan Energético de Cataluña (PEC, en adelante), como caso representativo aquí escogido de la situación española, en su apartado de Biomasa para el transporte.

Con este objetivo, en el siguiente apartado se describe el ciclo de vida de los agrocombustibles con sus principales insumos, procesos y rendimientos. En la tercera sección del trabajo, se presenta un esbozo del contexto energético global y catalán, analizando la importancia del transporte en el pastel energético a estas dos escalas. Se trata también de hacer una caracterización del territorio catalán en cuanto a los usos del suelo, con atención sobre la agricultura en términos de ocupación, de tipo de producción y de rendimientos. También se revisa la importancia de los rendimientos en términos energéticos y de masa de los cultivos energéticos para así proceder a estimar con algunos supuestos, generalmente optimistas, la cantidad de tierra necesaria para llevar a cabo el apartado de biomasa para el transporte en Cataluña, en su escenario más deseable, según la Generalitat. Finalmente, en la cuarta sección y en las conclusiones, se discute sobre algunos de los aspectos más relevantes de los resultados, y sobre los agrocombustibles en un sentido más amplio, reflexionando sobre los medios energéticos puestos a merced de los objetivos de la planificación económica.

2. Los AGRO(bio)combustibles

2.1. Caracterización de los cultivos y procesos de transformación de la biomasa en agrocombustibles

En general, la biomasa energética es materia viva de la que derivan, por una parte combustibles sólidos, usados para generar energía eléctrica y térmica con fines domésticos e industriales; por

⁶ Es preciso señalar que el aumento de la demanda de energía final del sector transporte será mayor que el que observará la industria para ese mismo período, pero estará por detrás de los incrementos que experimentarán el sector residencial y sobretodo el sector terciario con aumentos del 28,5% y 41,7% respectivamente.

otra parte, combustibles líquidos, como biodiesel, aceite combustible, o bioetanol para calefacción y/o motores; y también combustibles gaseosos o biogás, con fines industriales y domésticos.

El diagrama de flujos de la Figura 1 permite tener una fotografía del ciclo de vida de la biomasa para la obtención de agrocombustibles. Se puede observar que la producción de biomasa con destino a su transformación y posterior uso energético requiere del funcionamiento (fotosíntesis, ciclo del agua, ciclos de elementos como el nitrógeno o el fósforo, etc.) y la estructura (el suelo, la biomasa, etc.) de los ecosistemas terrestres, en su forma de agro-ecosistemas. El cultivo supone la necesidad de aportes de combustible, fertilizantes, y otros bienes y servicios de carácter socio-económico (horas de trabajo, maquinaria, etc.), para subsidiar a los ecosistemas en sus pérdidas (de biomasa, de fertilidad, etc.), y para el desarrollo de la planta, tal y como se puede observar en el ejemplo de la Tabla 1.

Esta producción primaria de los campos de cultivo es recogida, transportada y posteriormente transformada y procesada para obtener el combustible. Como se puede ver en la Figura 1, tres son generalmente los procesos que se usan para la extracción de energía a partir de biomasa, y que definen, a su vez, los distintos tipos de agrocombustibles.

Tabla 1. Principales flujos de materia y energía para algunos cultivos destinados a su conversión en agrocombustibles, para Italia, 2001.

| DEMANDA | | Maíz | Girasol |
|--|--------------------|---------|---------|
| Masa equivalente de petróleo/unidad producto | g/g | 0,09 | 0,24 |
| Fertilizantes y pesticidas/unidad producto | g/g | 0,04 | 0,15 |
| Intensidad de materiales geóticos | g/g | 1,73 | 5,33 |
| Intensidad de materiales bióticos | g/g | 0,09 | 0,31 |
| Intensidad de agua | g/g | 1238,20 | 1128,74 |
| Erosión del suelo | g/g | 2,26 | 7,82 |
| Trabajo y servicios/unidad de producto | horas/kg | 0,003 | 0,015 |
| Demanda de suelo/unidad producto | m ² /kg | 1,32 | 4,55 |
| Coste/unidad de producto | \$/kg | 0,16 | 0,13 |

Fuente: Giampietro y Ulgiati (2005).

En primer lugar, los **procesos de tipo termoquímico**. Entre ellos hay que destacar tres:

- a) La **combustión**, ya sea por quema directa o mediante procesos combinados (con carbón o sistemas combinados de calor y energía) de quema de distintos tipos de biomasa que no necesita tratamientos posteriores, que es el proceso más extendido.
- b) La **gasificación**, que permite convertir biomasa de tipo ligno-celulósica (leña, forraje, etc.) o carbones vegetales en gas o syngas (gas mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno), a partir de procesos de oxidación a altas temperaturas (800°-900° C), obteniendo algunos tipos de agrocombustibles (DME, metanol, FTP diesel, hidrógeno, etc.), o calor y electricidad, en sistemas combinados.
- c) La **pirólisis y procesos hidrotérmicos**, que consisten en calentar la biomasa a altas temperaturas (450°-600° C) en ausencia de aire, y que producen gases, aceites y carbón vegetal, que o bien se queman directamente, o bien se tratan posteriormente para la obtención de biodiesel.

Por otra parte, los **procesos de tipo bioquímico**. En este apartado habría que destacar dos grandes tipos de procesos:

- a) Los que usan la **digestión anaeróbica**, que sería la generación de gas mediante bacterias que degradan la biomasa en ausencia de oxígeno, y que normalmente parten de biomasa húmeda (abonos naturales, residuos orgánicos, etc.), para la obtención de biogás, por lo que es el proceso habitual que se usa en muchas plantas de tratamiento de residuos urbanos.
- b) Los que usan **procedimientos de fermentación**, un proceso de oxidación incompleta de la biomasa en ausencia de aire, que parte de biomasa con un alto contenido en azúcares o almidón (maíz, caña de azúcar, cereales, etc.) o biomasa ligno-celulósica, y por el que se puede obtener bioetanol, a través de un proceso de tratamiento mediante enzimas y levaduras, así como una destilación posterior.

Finalmente, los **procesos químicos** de transformación. El principal es el que utiliza semillas de plantas oleaginosas como la soja, el sorgo o el girasol, mediante su secado, cocido, y prensado, para obtener aceite. Posteriormente este aceite se mezcla con algún tipo de alcohol (generalmente metanol), en un proceso denominado esterificación, para obtener un tipo de biodiesel.

En la Tabla 2 podemos observar los principales insumos que conllevan los procesos descritos de producción de bioetanol a partir de maíz, y de biodiesel a partir de planta de girasol.

Tabla 2. Principales flujos de materia y energía destinados a la transformación de maíz y girasol en etanol y biodiesel, respectivamente (Fuente: Giampietro y Ulgiati, 2005)

| | UNIDAD | ETANOL | BIODIESEL |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|
| Demanda equivalente de petróleo/unidad combustible | g/g | 0,60 | 0,82 |
| Demanda de fertilizantes y pesticidas/unidad combustible | g/g | 0,15 | 0,37 |
| Intensidad de materiales geóticos | g/g | 7,45 | 13,97 |
| Intensidad de materiales bióticos | g/g | 0,35 | 0,79 |
| Intensidad de agua | g/g | 4811,21 | 2852,61 |
| Erosión del suelo | g/g | 8,78 | 19,74 |
| Demanda de trabajo /unidad de combustible | horas/kg | 0,02 | 0,04 |
| Demanda de suelo/unidad combustible | m ² /kg | 5,10 | 11,48 |
| Producción neta de energía | 10 ⁶ J/ha | 1,89 x 10 ⁴ | 4,88 x 10 ³ |
| Obtención neta de energía por hora trabajada | 10 ⁶ J/hora | 613,55 | 145,77 |
| Coste/unidad de combustible | \$/kg | 0,50 | 0,61 |

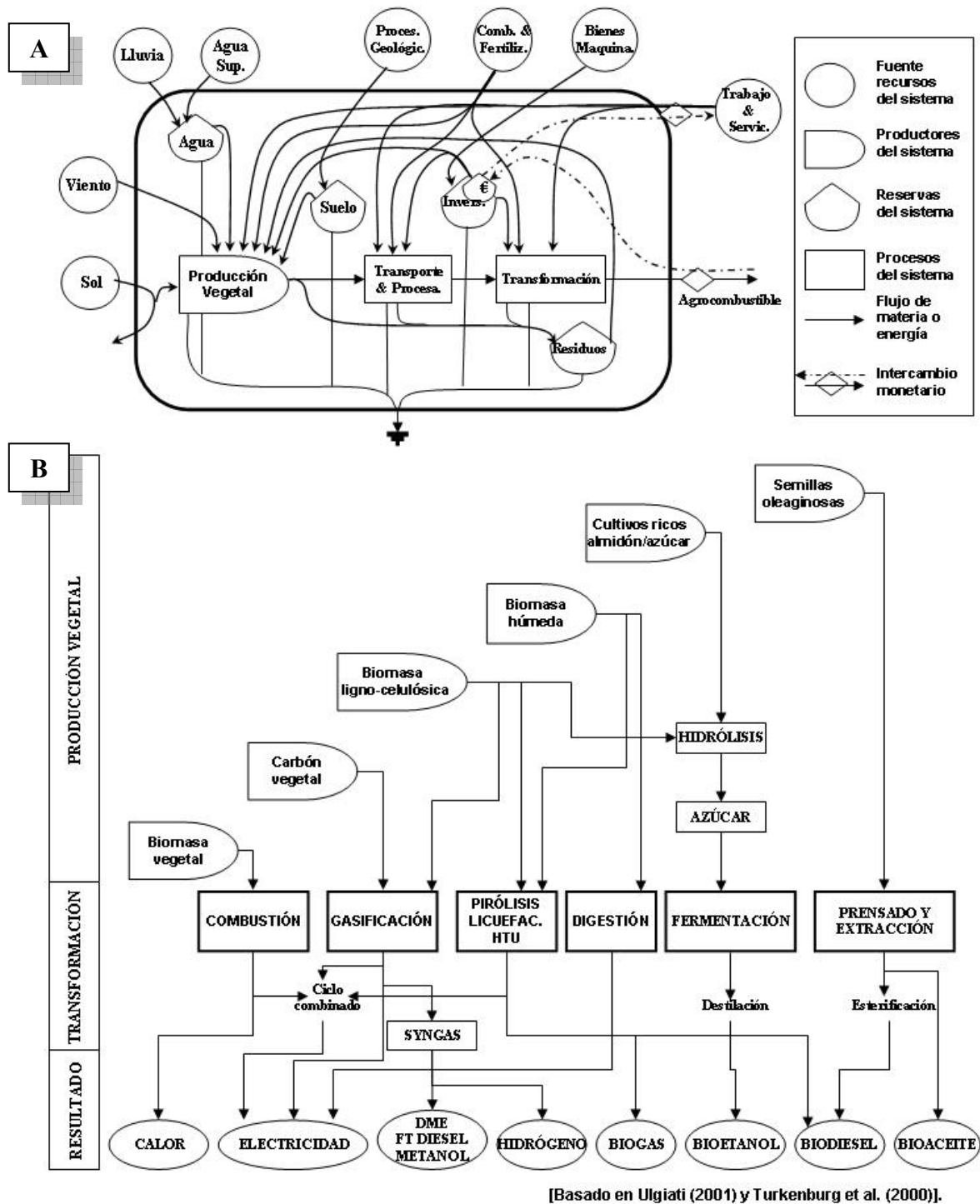


Figura 1. Procesos de transformación de la biomasa. A. Diagrama de flujos del ciclo de vida del combustible. B. Procesos de transformación de la biomasa y tipo de agrocombustible obtenido.

Finalmente, en la Figura 2 se puede observar la evolución de los distintos tipos de combustibles, desde los basados en energías fósiles hasta el hidrógeno de fuentes renovables. Entre los primeros agrocombustibles, o *agrocombustibles de primera generación*, el bioetanol es el agrocombustible con mayor producción mundial, del que se elaboraron más de 40 000 millones de litros durante el año 2004 en todo el mundo. Sin embargo, actualmente la atención se está centrando en los denominados *agrocombustibles de segunda generación*, es decir, la transformación de materiales de origen biológico, obtenidos a través de biomasa ligno-celulósica, principalmente, en combustible líquido.

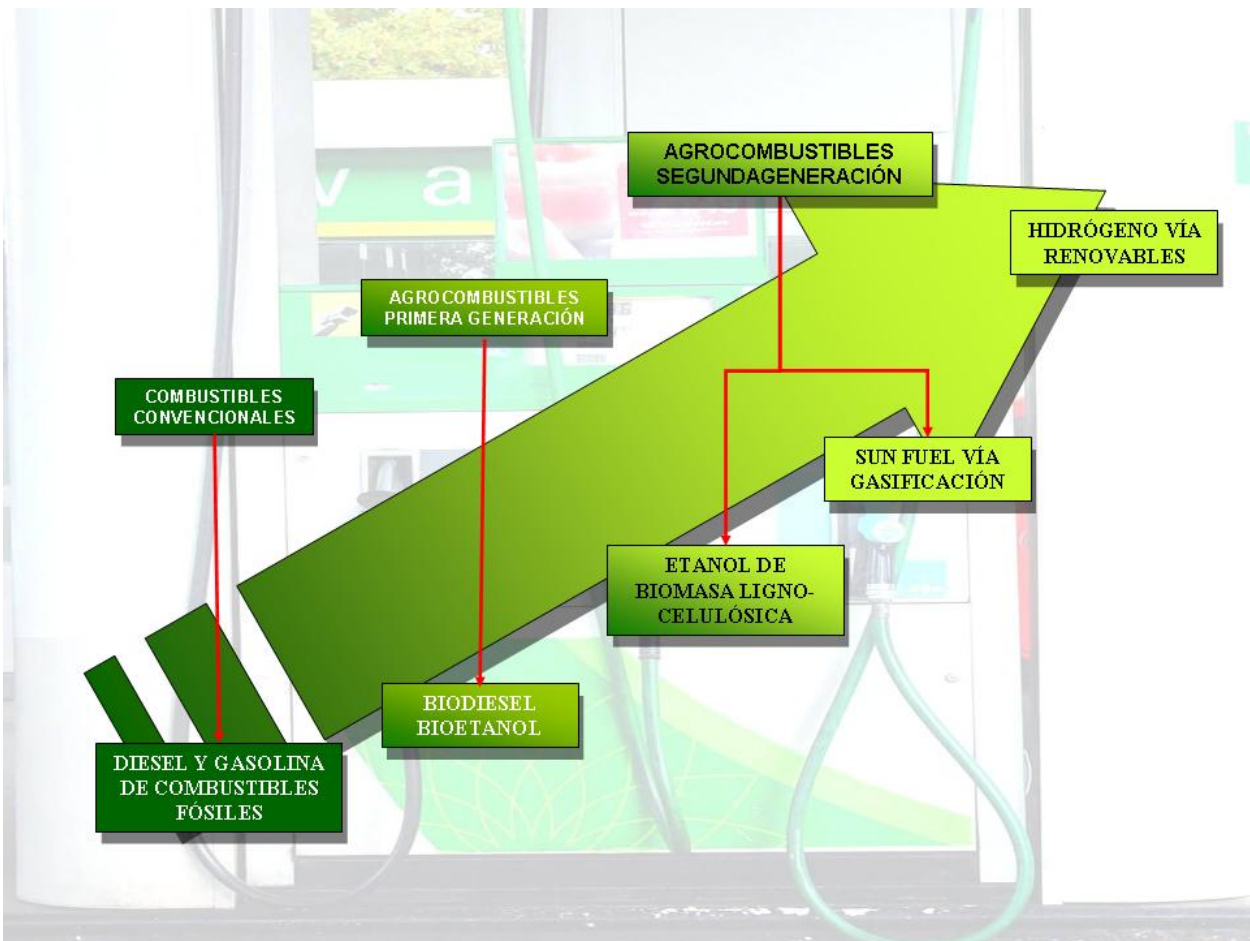


Figura 2. Evolución de los principales grupos de combustibles.

2.2. Los productos: rendimientos del proceso en términos de masa, energía y emisiones

En lo que se refiere a los productos resultantes de los procesos que hemos descrito, su rendimiento y las materias primas empleadas que se han mencionado en el apartado anterior existe un fuerte debate, cuyo reflejo es posible seguir a través de distintas publicaciones científicas, y que tuvo un último episodio de cierta relevancia en los números 311 y 312 de la revista norteamericana *Science*, y las publicaciones que en la misma se citan.

En cuanto a los rendimientos, el debate se centra en torno a las voces que defienden los rendimientos positivos, en términos de energía producida por energía consumida, de los

biocombustibles (Farell et al. 2006), frente a las que, por el contrario, defienden rendimientos negativos (Pimentel y Patzek, 2005; Patzek, 2006). Las cifras llegan a variar desde un 34-49 % de rendimiento positivo, es decir, obtención de 1.34-1.39 kcal de etanol a partir de 1 kcal de energía, hasta un rendimiento negativo entre el 29 y el 59 %, en el caso de la producción de etanol a partir de maíz.

Por otra parte, estas cifras de rendimientos positivos y negativos se complementan con el debate en relación a la supuesta reducción de emisiones que suponen los biocombustibles frente al uso de otros combustibles convencionales, y la reducción de gases de efecto invernadero que ello conllevaría (Righelato y Spracklen, 2007). En este caso, las cifras varían entre la producción de etanol a partir de trigo, que evitaría entre $0,22-0,55 \times 10^6$ g carbono/ha x año y la producción de etanol a partir de caña de azúcar, que podría llegar a evitar entre $1,78-1,98 \times 10^6$ g carbono/ha x año, con un balance negativo en relación a la situación de bosque o cultivo para alimento.

En la Tabla 3 se presentan algunas de las principales cifras que se pueden obtener revisando la literatura científica al respecto. Como se puede observar, para aquellos agrocombustibles para los que existen datos, se presentan ciertas contradicciones en los rendimientos o las emisiones.

En la mayoría de los casos, la guerra de cifras deriva principalmente del modo en que se afronta la realización del análisis del ciclo de vida de la biomasa correspondiente destinada a la producción de agrocombustibles. Por una parte, debido a las distintas hipótesis sobre la conversión en términos energéticos de los factores productivos de la agricultura (pesticidas, maquinaria, abonos, etc.), así como las cantidades de los mismos que se usan. Por otra parte, por la distinta base de contabilización y la introducción o no de energía directa o indirecta en el estudio, como por ejemplo, la contabilización o no de la energía necesaria para producir y mantener la maquinaria que realiza el proceso de fabricación del combustible.

Al respecto, hay que señalar que la mayoría de los datos optimistas en cuanto a las posibilidades de los agrocombustibles provienen de estudios realizados en un momento de fuerte confianza en la solución que este nuevo modelo podía suponer. Sin embargo, tal y como ya se ha comentado, recientes estudios están poniendo en cuestión muchos de estos datos a partir de una consideración más completa del ciclo de vida, con lo que se ofrece un panorama más negativo de esta posible solución a la problemática energética.

Tabla 3. Algunas de las principales cifras de rendimientos manejadas para los principales agrocombustibles.

| | USO DE BIOMASA ¹ | RENDIMIENTO ENERGÉTICO ² | BALANCE EMISIONES GASES EFECTO INVERNADERO ³ |
|-------------------------------|--|--|---|
| BIOETANOL A PARTIR DE: | | | |
| MAÍZ | 372-387 L bioetanol/t maíz (IEA, 2004) | 1,4-1,39 kcal bioetanol/kcal energía (Farrell et al. 2006) | -21-38 % (IEA, 2004) |
| | 370 L bioetanol/t maíz (Pimentel y Patzek, 2005) | 0,78 kcal bioetanol/kcal energía (Pimentel y Patzek, 2005) | + 30 % (Pimentel, 2001) |
| TRIGO | 348 L bioetanol/ t trigo (IEA, 2004) | 1,02-1,11 kcal bioetanol/kcal energía (IEA, 2004) | -19-47 % (IEA, 2004) |
| CAÑA DE AZÚCAR | 73-90 L bioetanol/t caña de azúcar (IEA, 2004) | 8,3-10,2 kcal bioetanol/kcal energía (IEA, 2004) | |
| REMOLACHA AZUCARERA | 54-101 L bioetanol/t caña de azúcar (IEA, 2004) | 1,56-1,79 kcal bioetanol/kcal energía (IEA, 2004) | -41-56 % (IEA, 2004) |
| LEÑA | 288 L bioetanol/t leña (IEA, 2004) | 0,66-0,83 kcal bioetanol/kcal energía (IEA, 2004) | -51% (IEA, 2004) |
| | 400 L bioetanol/t leña (Pimentel y Patzek, 2005) | 0,64 kcal bioetanol/kcal energía (Pimentel y Patzek, 2005) | |
| BIODIESEL A PARTIR DE: | | | |
| GIRASOL | | 3,0 kcal biodiesel/kcal energía (WWI/gtz, 2006) | |
| | 260 kg biodiesel/t girasol (Pimentel y Patzek, 2005) | 0,46 kcal biodiesel/kcal energía (Pimentel y Patzek, 2005) | |
| SOJA | | 1,5-3,3 kcal biodiesel/kcal energía (WWI/gtz, 2006) | -63 % (IEA, 2004) |
| | 180 kg biodiesel/t soja (Pimentel y Patzek, 2005) | 0,78 kcal biodiesel/kcal energía (Pimentel y Patzek, 2005) | |

¹Cantidad de combustible obtenido/cantidad biomasa usada.

²Cantidad de energía obtenida/cantidad de energía usada.

³Emisión o captación neta de carbono en relación con la gasolina.

3. Cataluña como caso de estudio en el contexto español

3.1. El escenario energético

La creciente preocupación respecto al “problema energético” se remonta a la década de los 70 del pasado siglo XX cuando, con la subida del precio del petróleo, quedó reflejada la dependencia extrema del sistema económico mundial de las fuentes fósiles de energía primaria. Ciertamente, de esas fechas data también el creciente interés por la diversificación de la producción de energía, esfuerzos que se concentraron en el desarrollo de las fuentes energéticas renovables, como la solar, la eólica o la biomasa. En el caso de esta última, su derivación hacia la producción de

combustibles líquidos para mezclar con refinados del petróleo o en el mejor de los casos sustituirlos, ha tomado en los últimos años un protagonismo exacerbado que se basa en presentarlos como la mejor alternativa para domar la voracidad del principal sector consumidor de energía final, el transporte. En este sentido, los argumentos a favor de los agrocombustibles se articulan en tres dimensiones principales de beneficios, contribuyendo a hacer más “verde” el proceso económico, sin dejar de impulsarlo, con un nuevo mercado plagado de interrogantes: el medio ambiente (con énfasis especial en la disminución de la emisión de CO₂ y de la contaminación urbana), la seguridad e independencia energética, y el desarrollo económico, creando oportunidades especialmente en el ámbito rural (IEA, 2004; Carpintero, 2006).

Es el biodiesel el agrocombustible que ostenta el máximo crecimiento en el mercado durante los últimos años, especialmente en Europa, en gran medida debido a la mayoritaria presencia de vehículos diesel en el parque automovilístico (IEA, 2004). Así las cosas, el creciente interés de los organismos públicos por el desarrollo de los agrocombustibles, en concreto del biodiesel, en el contexto europeo, no hizo sino aumentar, apareciendo ya en la directiva europea 1998/70/EC, y tomándose muy en serio la cuestión en las del 2003/30/EC (que adoptó la cuota de mercado, no alcanzada, del 2% para el 2005 y del 5,75% para el 2010) y 2003/96/EC (Russi, 2006), culminando en el 2005 y el 2006 con los documentos marco “Plan de acción para la Biomasa” y la “Estrategia de la Unión Europea para los Agrocarburos” (CE, 2005 y 2006), que marca los objetivos para promover la producción de agrocombustibles a gran escala a través de siete ejes políticos: estimular la demanda, desarrollar la producción y distribución, ampliar el suministro de materias primas, potenciar la comercialización, apoyar a los países en desarrollo, apoyar la investigación y actuar en provecho del medio ambiente.

Sin embargo, los precios de los agrocombustibles continúan siendo más altos que los equivalentes derivados del petróleo, y los esperados agrocombustibles de segunda generación no estarán disponibles comercialmente hasta el período 2010-2015, siendo más caros aún que los de primera generación (CE, 2007). En consecuencia, promover la producción y comercialización de los agrocombustibles requiere de medidas concretas a tres niveles distintos: políticas de fiscalización favorables, subsidios agrícolas y obligaciones de porcentajes mínimos en las gasolineras. Estas medidas han sido recientemente refrendadas con firmeza por la Comisión Europea que quiere “enviar una señal de determinación para reducir su dependencia del uso del petróleo en el transporte” asumiendo el objetivo de alcanzar el estándar mínimo del 10% en el uso de agrocombustibles para el 2020 (CE, 2007).

En el contexto estatal español, la directiva marco para los agrocombustibles 2003/30/EC ya se encuentra transpuesta en el marco legal nacional, y así lo refleja el Plan de Energías Renovables 2005-2010 (IDAE, 2005), que asume los mismos objetivos. Cataluña se encuentra actualmente en la tercera posición en producción de agrocombustibles, con 50 400 tep, y un objetivo marcado de 330 000 tep para el año 2010, que la situaría en una destacada primera posición respecto al resto de comunidades autónomas. Por consiguiente, el documento de referencia del gobierno autonómico catalán, el PEC 2006-2015 se articula en tres ejes básicos: promover el ahorro y la eficiencia energética mediante incentivos/penalizaciones fiscales, mejorar la calidad del suministro, y fomentar la participación de las fuentes de energía renovables. En concreto, dentro de este último apartado, fija los ambiciosos objetivos de sustituir un 18% el diesel por biodiesel, superando ampliamente los objetivos marcados por la UE (Generalitat de Cataluña, 2006).

Sin embargo, los argumentos esgrimidos a favor de los agrocombustibles están enfrentándose últimamente a un aluvión de críticas que ponen en entredicho los argumentos que los apoyan, y añaden impactos sociales y ambientales inesperados e incontrolados que no se habían tomado en

cuenta. El eco institucional a estas críticas se ha traducido en proclamar la necesidad de evitar que los cultivos energéticos amenacen zonas de alta biodiversidad y otros impactos socioeconómicos como la competencia con cultivos alimentarios (CE, 2007). No obstante, las medidas para responder a estos objetivos se limitan a proponer el desarrollo de un “simple sistema de incentivos/apoyo [...] que desanimen la producción de agrocombustibles en malos sistemas [...] y que no debería actuar como una barrera al comercio”. Y se añade en el siguiente párrafo: “Este sistema debe ser diseñado de manera que no reduzca los beneficios de la seguridad del suministro” (*Ibid.* pp.13).

3.2. Los datos para los agrocombustibles en Cataluña

Para este estudio se ha decidido trabajar con datos estadísticos procedentes del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, en adelante) para 2005 (los últimos completados con referencias a los rendimientos concretos que más adelante serán necesarios para la discusión de los escenarios) como fuente principal, por su alta desagregación en materia agrícola, y por su escala de toma de datos.

Según el Anuario Estadístico del MAPA para 2004 con referencia a la campaña de 2003, los usos agrícolas representan un 28% del territorio catalán, las superficies forestales un 47%, los prados y pastizales un 8% y los demás usos del territorio un 17%, entre los que está recogida la superficie urbana e industrial.

En la Tabla 4, se muestran la producción, superficie y rendimiento de los cultivos que actualmente se utilizan en Cataluña⁷ para biodiesel, y en la Tabla 5 los mismos datos para bioetanol. Se comprueba que el mayor rendimiento medio se da siempre en regadío. El cultivo más productivo de media, en términos de masa por superficie, es: para el bioetanol, el maíz, tanto en regadío como en secano; para biodiesel, el girasol y la colza en regadío, y la soja en secano. Los cultivos menos productivos son: para biodiesel el girasol en secano, y la soja en regadío; para el bioetanol, el sorgo en secano y la cebada en regadío. Las altas desviaciones típicas resultantes hacen que la diferencia de rendimientos por unidad de superficie entre unas zonas geográficas y otras sean muy relevantes. Los datos de rendimiento por unidad de superficie son importantes, pero se han de complementar con los datos de rendimiento energético y de biodiesel o bioetanol por hectárea cultivada para la realización de escenarios posibles.

En la Tabla 6 se revisan los rendimientos energéticos por superficie que se suponen a los agrocombustibles por las fuentes oficiales, con el ánimo de presentar datos (optimistas) en la ocupación de tierra. Como punto a tener en cuenta, no se ofrecen los rendimientos de la planta en campo (como da el MAPA), si no de la parte de la planta utilizable en el proceso industrial de transformación, por lo que el dato del MAPA debería siempre ser mayor que el dato del IDAE, que son las dos fuentes que utilizamos para esta evaluación. Para la colza se da el dato de 2,8 toneladas de semillas por hectárea, mientras que nuestro rendimiento máximo en regadío en Cataluña son 3,5 t/ha de planta. Para el girasol el rendimiento en semillas propuesto es de 1,5 t/ha, mientras que nuestro rendimiento máximo en regadío es de 2,9 t/ha. En el caso de la soja, la producción en Cataluña es insignificante (30 hectáreas) y el propio IDAE no proporciona datos, por lo que no será tomada en consideración para las cuentas. El rendimiento dado para el sorgo es de 90 t/ha, mientras que los datos del MAPA de máximo rendimiento en regadío de la planta completa son de 8,5 t/ha, lo que no deja de ser asombroso, si no se especifica ningún matiz más con respecto al cultivo. Como rendimiento del maíz, el IDAE ofrece el dato de 10 t/ha, que

⁷ Asumiremos la producción de agrocombustibles a partir de cultivos ya existentes en el territorio catalán.

coincide con el del MAPA. Por último, para el trigo se publica un rendimiento de 2,5 t/ha en el IDAE, mientras que el MAPA da un rendimiento máximo en regadío de 5,8 t/ha.

Tabla 4. Superficie, rendimiento y producción de los cultivos actualmente presentes en Cataluña susceptibles de ser utilizados para Biodiesel.

| GIRASOL: Análisis provincial de superficie, rendimiento y producción 2004 | | | | | | |
|--|------------------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|------------------------|
| Provincias y Comunidades Autónomas | Superficie (hectáreas) | | | Rendimiento (kg/ha) | | Producción (toneladas) |
| | Secano | Regadío | Total | Secano | Regadío | |
| Barcelona | 1034 | 14 | 1048 | 965 | 2304 | 1030 |
| Girona | 3091 | 1698 | 4789 | 1200 | 2500 | 7954 |
| Lleida | 521 | 552 | 1073 | 1324 | 2696 | 2178 |
| Tarragona | 87 | 13 | 100 | 989 | 2538 | 119 |
| CATALUÑA | 4733 | 2277 | 7010 | 1158 | 2547 | 11281 |
| 2005 | | | | | | |
| Barcelona | 790 | 4 | 794 | 680 | 2900 | 549 |
| Girona | 2285 | 1334 | 3619 | 1200 | 2501 | 6079 |
| Lleida | 223 | 327 | 550 | 834 | 2125 | 881 |
| Tarragona | 74 | 36 | 110 | 703 | 3194 | 167 |
| CATALUÑA | 3372 | 1701 | 5073 | 1043 | 2444 | 7676 |
| SOJA: Análisis provincial de superficie, rendimiento y producción 2004 | | | | | | |
| Provincias y Comunidades Autónomas | Superficie (hectáreas) | | | Rendimiento (kg/ha) | | Producción (toneladas) |
| | Secano | Regadío | Total | Secano | Regadío | |
| Girona | 6 | 2 | 8 | 1500 | 3000 | 15 |
| Tarragona | – | 13 | 13 | – | 3538 | 46 |
| CATALUÑA | 6 | 15 | 21 | 1500 | 3466 | 61 |
| 2005 | | | | | | |
| Girona | 17 | – | 17 | 1529 | – | 26 |
| Lleida | – | 4 | 4 | – | 1900 | 8 |
| CATALUÑA | 17 | 4 | 21 | 1529 | 1900 | 34 |
| COLZA: Análisis provincial de superficie, rendimiento y producción 2004 | | | | | | |
| Provincias y Comunidades Autónomas | Superficie (hectáreas) | | | Rendimiento (kg/ha) | | Producción (toneladas) |
| | Secano | Regadío | Total | Secano | Regadío | |
| Barcelona | 890 | 14 | 904 | 1736 | 1950 | 1572 |
| Girona | 284 | 86 | 370 | 1194 | 2000 | 511 |
| Lleida | 1265 | 140 | 1405 | 1382 | 2568 | 2108 |
| Tarragona | 145 | 6 | 151 | 1600 | 3500 | 253 |
| CATALUÑA | 2584 | 246 | 2830 | 1495 | 2357 | 4444 |
| 2005 | | | | | | |
| Barcelona | 704 | 8 | 712 | 679 | 2943 | 502 |
| Girona | 450 | 82 | 532 | 1196 | 2000 | 702 |
| Lleida | 229 | 69 | 298 | 1328 | 2800 | 497 |
| Tarragona | 9 | – | 9 | 889 | – | 8 |
| CATALUÑA | 1392 | 159 | 1551 | 954 | 2395 | 1709 |

Tabla 5. Superficie, rendimiento y producción de los cultivos actualmente presentes en Cataluña susceptibles de ser utilizados para Bioetanol.

| MAIZ: Análisis provincial de superficie, rendimiento y producción 2004 | | | | | | | |
|--|------------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------------------|----------------------------|
| Provincias y Comunidades Autónomas | Superficie (hectáreas) | | | Rendimiento (kg/ha) | | Producción de grano (toneladas) | Paja cosechada (toneladas) |
| | Secano | Regadío | Total | Secano | Regadío | | |
| Barcelona | 1778 | 680 | 2458 | 1876 | 10753 | 10648 | |
| Girona | 2557 | 8229 | 10786 | 7000 | 11000 | 108418 | |
| Lleida | 189 | 29383 | 29572 | 6169 | 9869 | 291146 | |
| Tarragona | 11 | 102 | 113 | 4364 | 7716 | 835 | |
| CATALUÑA | 4535 | 38394 | 42929 | 4950 | 10121 | 411047 | |
| 2005 | | | | | | | |
| Barcelona | 1767 | 730 | 2497 | 1649 | 9971 | 10193 | |
| Girona | 2212 | 7323 | 9535 | 7000 | 11000 | 96037 | |
| Lleida | 251 | 26439 | 26690 | 6088 | 8826 | 234878 | |
| Tarragona | 2 | 142 | 144 | 2000 | 8310 | 1184 | |
| CATALUÑA | 4232 | 34634 | 38866 | 4709 | 9308 | 342292 | |
| TRIGO: Análisis provincial de superficie, rendimiento y producción 2004 | | | | | | | |
| Provincias y Comunidades Autónomas | Superficie (hectáreas) | | | Rendimiento (kg/ha) | | Producción de grano (toneladas) | Paja cosechada (toneladas) |
| | Secano | Regadío | Total | Secano | Regadío | | |
| Barcelona | 22211 | 489 | 22700 | 4468 | 5713 | 102032 | 67700 |
| Girona | 8566 | 3800 | 12366 | 2500 | 3000 | 32815 | 35800 |
| Lleida | 21444 | 9175 | 30619 | 3424 | 5345 | 122464 | 42865 |
| Tarragona | 3155 | 117 | 3272 | 3517 | 5000 | 11681 | 5800 |
| CATALUÑA | 55376 | 13581 | 68957 | 3705 | 4699 | 268992 | 152165 |
| 2005 | | | | | | | |
| Barcelona | 20886 | 547 | 21433 | 1505 | 5639 | 34518 | 16450 |
| Girona | 10503 | 5076 | 15579 | 2100 | 3000 | 37284 | 38675 |
| Lleida | 25494 | 10860 | 36354 | 545 | 3888 | 56117 | 32718 |
| Tarragona | 5656 | 134 | 5790 | 999 | 3052 | 6059 | 2895 |
| CATALUÑA | 62539 | 16617 | 79156 | 1168 | 3668 | 133978 | 90738 |
| SORGO: Análisis provincial de superficie, rendimiento y producción 2004 | | | | | | | |
| Provincias y Comunidades Autónomas | Superficie (hectáreas) | | | Rendimiento (kg/ha) | | Producción de grano (toneladas) | Paja cosechada (toneladas) |
| | Secano | Regadío | Total | Secano | Regadío | | |
| Barcelona | 1105 | 117 | 1222 | 1603 | 7183 | 2612 | |
| Girona | 1774 | 517 | 2291 | 2000 | 5000 | 6133 | |
| Lleida | 35 | 140 | 175 | 6000 | 8507 | 1401 | |
| Tarragona | 16 | – | 16 | 4250 | – | 68 | |
| CATALUÑA | 2930 | 774 | 3704 | 1910 | 5964 | 10214 | |
| 2005 | | | | | | | |
| Barcelona | 1164 | 134 | 1298 | 1541 | 7230 | 2763 | |
| Girona | 1370 | 443 | 1813 | 2000 | 5000 | 4955 | |
| Lleida | 11 | 82 | 93 | 6000 | 8280 | 745 | |
| Tarragona | 26 | – | 26 | 2500 | – | 65 | |
| CATALUÑA | 2571 | 659 | 3230 | 1814 | 5862 | 8528 | |

Tabla 5. Superficie, rendimiento y producción de los cultivos actualmente presentes en Cataluña susceptibles de ser utilizados para Bioetanol (Continuación).

| CEBADA: Análisis provincial de superficie, rendimiento y producción 2004 | | | | | | | |
|---|------------------------|---------------|----------------|---------------------|--------------|---------------------------------|----------------------------|
| Provincias y Comunidades Autónomas | Superficie (hectáreas) | | | Rendimiento (kg/ha) | | Producción de grano (toneladas) | Paja cosechada (toneladas) |
| | Secano | Regadío | Total | Secano | Regadío | | |
| Barcelona | 43.635 | 1.638 | 45.273 | 3.105 | 5.116 | 143.867 | 102.900 |
| Girona | 14.229 | 2.617 | 16.846 | 2.400 | 2.801 | 41.480 | 34.100 |
| Lleida | 106.590 | 12.661 | 119.251 | 3.361 | 5.617 | 429.365 | 178.876 |
| Tarragona | 16.183 | 488 | 16.671 | 3.919 | 5.399 | 66.056 | 23.330 |
| CATALUÑA | 180.637 | 17.404 | 198.041 | 3.273 | 5.140 | 680.768 | 339.206 |
| 2005 | | | | | | | |
| Barcelona | 44.642 | 1.603 | 46.245 | 1.182 | 5.041 | 60.847 | 26.090 |
| Girona | 12.996 | 2.633 | 15.629 | 2.000 | 2.801 | 33.368 | 26.636 |
| Lleida | 101.679 | 12.302 | 113.981 | 339 | 3.637 | 79.212 | 102.582 |
| Tarragona | 12.782 | 719 | 13.501 | 1.084 | 3.876 | 16.643 | 3.329 |
| CATALUÑA | 172.099 | 17.257 | 189.356 | 738 | 3.650 | 190.070 | 158.637 |

Tabla 6. Datos de rendimientos en campo de los cultivos susceptibles de ser utilizados como agrocombustibles. (IDAE, 2006)

| Cultivo | Producción de semilla (t/ha) | Rendimiento en biodiésel (t/ha) | Producción de biodiésel (l/ha) |
|---------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Colza | 2,8 | 1,2 | 1400 |
| Girasol | 1,5 | 0,6 | 682 |
| Cultivo | Producción (t/ha) | Rendimiento en etanol (t/ha) | Producción de etanol (l/ha) |
| Sorgo | 90 | 15 | 6000 |
| Maíz | 10 | 2,9 | 3703 |
| Trigo | 2,5 | 2,5 | 877 |

En principio, los datos, aceptando un cierto margen de error en la publicación del IDAE, podrían ser razonables si se les exige que el rendimiento de la parte aprovechable de la planta sea menor que el de la planta completa, lo cual no se cumple en el caso del sorgo, y que se considerará como válido a pesar de haber un orden de magnitud de diferencia (positivo) entre el rendimiento en parte aprovechable seca de la planta y el rendimiento dado por el MAPA como máximo en regadío en Cataluña. Además, aunque no se mencione, se ha de suponer también que todos los cultivos tienen rendimientos máximos en regadío en los datos del IDAE. En cualquier caso, estos datos sólo se consideran para hacer los cálculos. Como ya se ha señalado, los cultivos para el estudio se han elegido con el criterio de su existencia anterior en el territorio, y por tanto se elimina la soja por su baja presencia en superficie para Cataluña.

Según los cálculos hechos, si el PEC se cumpliera en su escenario más optimista, se producirían 785 ktep (785×10^{10} kcal) de biodiesel, y 58,7 ktep ($58,7 \times 10^{10}$ kcal) de bioetanol como energía primaria.

Teniendo en cuenta los poderes caloríficos, llevar a la práctica el PEC en su escenario más deseable, supondría la producción de $8,26 \times 10^5$ toneladas de biodiesel y $7,3 \times 10^4$ toneladas de bioetanol. De momento, los rendimientos máximos en regadío para 2005 fueron de 10 t/ha de biomasa (maíz) para bioetanol, y de 2,7 t/ha de biomasa (girasol). Aunque se consiguiera convertir toda la planta en combustible, serían necesarias 313380 ha en cultivos de regadío intensivo, con las condiciones de rendimiento máximo. Suponiendo que la mitad de la planta es convertida en combustible en el proceso, se necesitaría el doble de superficie (626761 ha). Así,

según sea menor la parte de biomasa recolectada que se convierte en combustible, mayor es la superficie necesaria para producirlo. Relacionando esto con los actuales usos del suelo de Cataluña, se podría comparar bajo distintos supuestos, la necesidad de tierras para llevar a cabo el PEC en contexto de autoabastecimiento, y compararlo con la ocupación actual del suelo por los cultivos, la agricultura en general, y el resto de los usos.

4. Problemas y expectativas de los agrocombustibles en Cataluña

4.1 La racionalidad de los medios propuestos

En Cataluña ya existen 250000 ha de cultivos en regadío, por lo cual prácticamente cualquier movimiento hacia estos cultivos energéticos va a necesitar más agua. Es cierto que aún pueden hacerse esfuerzos por lograr mayor eficiencia en el uso del agua en regadíos, pero no es menos cierto que los cultivos de regadío actuales (frutas, hortalizas, etc.) tienen un precio en el mercado sensiblemente mayor que los agrocombustibles por tonelada. En cualquier caso, tras la derogación del Plan Hidrológico Nacional en 2004, no parece que fuera coherente la puesta en regadío de muchas más tierras, como sería necesario según los escenarios ilustrados anteriormente, que maximizan el rendimiento de los cultivos energéticos. Por otra parte, la simplificación del paisaje catalán además de ser una pérdida culturalmente hablando, supondría un aumento de vulnerabilidad ante plagas, y una disminución de la biodiversidad agrícola y silvestre asociada a los sistemas de usos múltiples típicamente mediterráneos.

También es de señalar que las consecuencias de la agricultura industrial, intensiva en productos fertilizantes y pesticidas, se mantuvieran y aumentaran a causa del número de hectáreas a cultivar, además de las necesidades derivadas de los rendimientos esperados de los campos, no asumibles sin requerimientos externos de energía, y un control sobre las plagas muy intenso. La contaminación de acuíferos, por ejemplo, sería un tema relevante a tener en cuenta. Pero también se podría comentar el aumento de la erosión o el agotamiento de la fertilidad y vocación agrícola de los suelos.

No en vano, se puede concluir que el coste ambiental en su conjunto del ciclo de vida de los agrocombustibles llega a ser incluso un orden de magnitud mayor que el de los combustibles tradicionales (Ulgiati, 2001), lo que supondría una contradicción a lo que se esperaba de ellos originalmente.

No menos importante -y preocupante- para el conjunto de la sociedad civil así como para todos los colectivos implicados y/o sensibilizados, es el recelo asociado a una eventual puesta en cultivo masiva de variedades genéticamente modificadas. La promoción de la agro-industria a todos los niveles, pero, en concreto, creando agro-mercados paralelos al alimentario, parece ser una de las apuestas de futuro de las multinacionales biotecnológicas, que ven la posibilidad de evitar así las barreras socialmente impuestas a sus productos transgénicos orientados al consumo humano. No obstante, las incertidumbres ecológicas, sociales y económicas de estos nuevos cultivos no se ven resueltas de ningún modo, tan solo serán encubiertas por el distinto objetivo de la producción.

Es evidente que los argumentos esgrimidos resultan al menos indicios de que la racionalidad de los medios puede ser fácilmente cuestionada.

4.2 Racionalidad de los objetivos: de la política energética al debate sobre el crecimiento y el modelo de sociedad.

Como se comentó brevemente en la introducción, en la medida en que una política y sus objetivos comprometen los objetivos de otros campos de la vida en sociedad, se puede decir que existen políticas inerciales o subsidiarias, y políticas “cabeza de dragón”, que marcan los objetivos de las demás, convirtiéndose en sus medios. Así pues, es importante tener siempre bien clara la hipótesis de partida que señala que el debate de los agrocombustibles se encuentra mutilado de sus preguntas más importantes, y se ha visto reducido a una discusión sobre medios, ignorando por completo el procedimiento de discusión de los objetivos.

Hay que considerar que la búsqueda de términos y metáforas que por su carácter sintético facilitan el consenso y soslayan, obvian o dan por superadas las contradicciones y críticas originarias, viene siendo la forma de *huida hacia delante* practicada por las instituciones y organismos de gobierno obcecados en no discutir en profundidad las raíces de sus políticas. Así, la Comisión Europea, en su último informe sobre agrocombustibles (CE, 2007), asevera que “los biocombustibles son hoy en día el único sustituto directo para el petróleo en el transporte disponible a gran escala”, y en ningún momento se discute la necesidad obvia de poner un freno a las perspectivas de aumento de la demanda energética. ¿Por qué no se plantea poner límites al consumo? Sin duda, mientras persista el tabú en los órganos de gobierno a discutir sobre la necesidad de seguir creciendo económicamente, de seguir consumiendo más y más recursos, transformándolos en más y más residuos, esta pregunta no será formulada al nivel ejecutivo pertinente.

5. Conclusiones

Mantener la ilusión de un crecimiento que sea más sostenible responde a unos intereses concretos que, en este caso, son reflejados por la siguiente pregunta: ¿De quién y a quién pertenece la “crisis energética”? Para responderla no hace falta más que apuntar que, en el selecto grupo de países pertenecientes a la OCDE se consume el 49,1% de la demanda de energía primaria, y consecuentemente se emite el 48,6% del CO₂ vertido a la atmósfera. En resumidas cuentas, podemos concluir que el problema energético pertenece a un determinado *sistema económico* y de organización social indiscutido, que depende del continuo aumento del flujo de materiales y energía, y son el conjunto de gobiernos con esta fé en el crecimiento económico los que producen tales “instrumentos, decisiones y recomendaciones”.

La expresión territorial del PEC (y por extensión, la de otros planes energéticos con similar confianza en los agrocombustibles) supone una mayor ocupación del territorio, y su efectivo cumplimiento así lo va a reflejar dentro o allende las fronteras catalanas, con necesidad de acuerdos políticos con otros territorios en el segundo caso. Ahora bien, a partir de estas políticas dadas ¿cómo se van a conseguir esos “acuerdos multilaterales necesarios para el progreso de los países”? ¿qué capacidad de negociación van a tener los países que no pertenezcan a la OCDE, y entre ellos los más pobres y los más marginados, respecto a estas medidas que plantean una vía única al desarrollo? Aún queda por apuntar que la *inercia desatada* en el consumo energético mundial⁸ no hace sino reflejar la mitología del desarrollo que, con visos de realismo se ha venido

⁸ Es cada vez más obvio que algunas naciones, etnocéntricamente adjetivadas de “emergentes” han aprendido la lección del desarrollo mejor que los propios maestros.

publicitando como señuelo para “todos”, y a favor de la estabilidad económica que beneficia a unos “pocos”.

A modo de conclusión final hay que señalar la necesidad creciente de, en un proceso de toma de decisiones clave para el conjunto de la sociedad como es la formulación e implementación de una política energética, apostar por una racionalidad del procedimiento que cuestione en el proceso los fines de las políticas y sus consecuencias asociadas. Este proceso sólo puede tener lugar con aproximaciones a la realidad, realmente participativas, inclusivas y creativas, que asuman distintos criterios de valoración inconmensurables entre sí, y lleven hasta el final las preguntas claves que la sociedad se debe reformular de forma continua: ¿Qué cantidad de energía es necesaria para desarrollar las potencialidades humanas? ¿Dentro de qué modelo de sociedad es esto posible y deseable?

Referencias bibliográficas

Carpintero, O. Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico, *El Ecologista*, 49, 2006. Disponible en formato electrónico en: http://www.nodo50.org/ecologistas.valladolid/article.php?id_article=396

Comunicación de la Comisión. Plan de Acción para la biomasa, COM/2005/628 final, 2005.

Comunicación de la Comisión. Estrategia de la Unión Europea para los biocarburantes, COM/2006/34 final, 2006.

Comunicación de la Comisión. Biofuels progress report, COM/2006/845 final, 2007.

European Commission. European energy and transport. Trends to 2030—update 2005, 2006.

Farrell, A.E., R.J. Plevin, B. T. Turner, A.D. Jones, M. O’Hare, D.M. Kammen. Ethanol can contribute to energy and environmental goals, *Science* 311, 2006.

Fischer-Kowalski, M. Society’s metabolism. The intellectual history of materials flow analysis, Part I, 1860-1970, *Journal of Industrial Ecology*, 2 (1), 1998a.

Fischer-Kowalski, M., W. Hüttler. Society’s metabolism. The intellectual history of materials flow analysis, Part II, 1970-1998, *Journal of Industrial Ecology*, 2(4), 1998b.

Giampietro, M., K. Mayumi, J. Ramos-Martín. Can biofuels replace fossil fuels? A multi scale integrated analysis based on the concept of societal and ecosystem metabolism: Part I, *International journal of Transdisciplinary Research*, 1(1), 2006.

Giampietro, M., S. Ulgiati. Integrated assessment of large-scale biofuel production, *Critical Review in Plant Sciences*, 24, 2005.

Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía–IDAE. Resumen plan de energías renovables 2005-2010, 2005.

International Energy Agency–IEA. Worldwide review on biodiesel production. Task 39, 2003.

International Energy Agency–IEA. Biofuels for transport. Task 39, 2004.

International Energy Agency. World energy outlook, 2005.

International Energy Agency. Key world energy statistics, 2006.

Martínez-Alier, J. Ecological Economics: Energy, environment and society, Basil Blackwell, Oxford, UK, 1987.

Naredo, J.M. Raíces económicas del deterioro ecológico y social, Siglo XXI, Madrid, 2006.

OSE. Informe de cambios de ocupación del suelo en España: implicaciones para la sostenibilidad, Ministerio de Medio Ambiente y CNIG, Madrid, 2006.

Pimentel, D., T. Patzek. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood and biodiesel production using soybean and sunflower, Natural Resources and Research, 14(1), 2005.

Ramos Martín, J. Intensidad energética de la economía española, Economía Industrial, 351(3), 2003.

Righelato, R., D.V. Spracklen. Carbon mitigation by biofuels or by saving and restoring forests?, Science, 317, 2007.

Russi, D. Social multicriteria evaluation and renewable energy policies. Two case studies, PhD Dissertation, Universitat Autònoma de Barcelona, 2007.

Sendra, C., X. Gabarrell, T. Vicent. Análisis de los flujos de materiales de una región: Cataluña (1996-2000), Revista Iberoamericana Economía Ecológica, 4, 2006.

Shapouri, H., J.A. Duffield, A. McAloon, M. Wang. The 2001 Net Energy Balance of Corn Ethanol, 2004. Disponible en formato electrónico en:
http://www.ethanolrfa.org/objects/pdf/net_energy_balance_2004.pdf

Ulgati, S. A comprehensive energy and economic assessment of biofuels: When “green” is not enough, Critical Review in Plant Sciences, 20 (1), 2001.

Vitousek, P., P.R. Ehrlich, A. Ehrlich, P. Matson. Human appropriation of photosynthesis products, BioScience, 36(6), 1986.

WWI/gtz. Biofuels for transportation: Global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century, Washington, D.C., USA, 2006.

Material electrónico utilizado

<http://www.oecd.org/>

<http://www.ebb-eu.org/>

<http://www.ebio.org/>

<http://www.eeb.org/>

<http://www.cpefarmers.org/>

<http://www.icaen.net/>

<http://www.idae.es/>