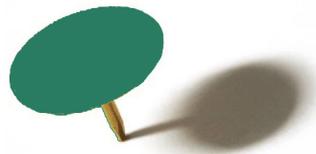


AGRO(*bio*)combustibles Por qué no nos salvarán

Coordinado por *Monica Di Donato*



ARTÍCULO

**Biocombustibles y uso energético de la biomasa:
un análisis crítico**

Óscar Carpintero

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 agrocarburantes. 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.

Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico¹ ***por Óscar Carpintero²***

“Hemos pedido un cambio de civilización, y nos ofrecen porcentajes de biodiesel”

Jorge Riechmann, 2007.

1. Una polémica que conviene resolver de manera sosegada y racional

Los movimientos sociales activos y con cierta vitalidad - y el movimiento ecologista lo es - presentan a veces tensiones entre el análisis radicalmente honesto de la situación ambiental, y la elaboración de propuestas y alternativas que sean viables técnica y económicamente. Esta tensión es normal aunque dé lugar en ocasiones a contradicciones internas o a incoherencias (ya se sabe que a veces es difícil acertar). En todo caso, a pesar de que no es siempre fácil eliminar esas inconsistencias, parece razonable hacer un intento por minimizarlas.

La vieja discusión sobre la necesidad de un nuevo modelo energético en los países ricos - y la mejor forma de luchar contra el cambio climático - ha puesto sobre el tapete un elemento de tensión y discusión interna, tanto dentro del movimiento ecologista, como en el seno del mundo científico y académico con preocupaciones ambientales. En un afán - inicialmente bienintencionado - por plantear alternativas renovables al uso de los combustibles fósiles, venimos asistiendo desde hace años a propuestas que ponen en un lugar destacado el uso de los biocombustibles y de la biomasa como elemento importante de la transición hacia un modelo energético más sostenible. Efectivamente, una parte importante del movimiento ecologista y algunos trabajos científicos que discutiré más adelante, se han esforzado en ofrecer una visión cautelosamente positiva del aprovechamiento energético de la biomasa y de las posibilidades de los biocombustibles. Sin embargo, me parece que las dudas y las críticas frente a estos planteamientos - que proceden también tanto de una parte del movimiento ecologista, como de científicos y académicos con una larga experiencia en cuestiones energéticas y ambientales - no han sido suficientemente atendidas ni valoradas. Esto es aún más lamentable habida cuenta que el marco institucional que se está imponiendo en nuestro país, y que más tarde comentaré, es claramente favorable a la extensión e intensificación en el uso de la biomasa y los biocombustibles como fuentes energéticas.

Como me parece que en algunas manifestaciones públicas de una parte del movimiento ecologista español -Greenpeace, Ecologistas en Acción, etc. -, se acepta (a veces con cautelas) este tipo de planteamientos (véase, por ejemplo Greenpeace, 2005; Ecologistas en Acción, 2002; Tomé Gil, 2006) creo que es un buen momento para hacer aflorar públicamente la controversia. Y como no me parece que sea un asunto que se pueda despachar en un par de párrafos, también desearía hacerlo de la manera más sosegada, racional y respetuosa posible, esto es: recordando algunas enseñanzas que desde hace tiempo vienen exponiendo de manera muy solvente gentes como Alfonso del Val en España (Del Val 1999; Del Val, 2002; Del Val, 1997; Ecologistak Martxan, 2002; Carpintero, 2005), o David Pimentel, Mario Giampietro y tantos otros en el resto del

¹ Este texto amplía las reflexiones del artículo que, con el mismo título, apareció en la revista *El Ecologista*, 49, 2006. El autor agradece a Joquim Sempere la atenta lectura del texto y sus comentarios.

² Profesor de Economía Aplicada de la Universidad de Valladolid y miembro de Ecologistas en Acción.

mundo; e incorporando también, de paso, los resultados de recientes investigaciones que ponen seriamente en tela de juicio las bondades ecológicas del aprovechamiento energético de la biomasa y sus derivados (biocombustibles).

Resumidamente, las dos opciones que protagonizan la controversia son las siguientes. De un lado, los partidarios de la utilización energética de la biomasa y los biocombustibles apoyan su opción sobre tres supuestas ventajas: a) los biocombustibles presentarían un balance energético positivo (es decir, que la energía obtenida es superior a la invertida en la producción del cultivo de base y en su fabricación); b) desde el punto de vista de las emisiones de CO₂ la biomasa y los biocombustibles tendrían un efecto neutral, esto es, emitirían a la atmósfera el carbono que previamente habrían absorbido en el proceso de fotosíntesis; y c) dadas las condiciones de crisis estructural de la agricultura y de despoblamiento del medio rural, la alternativa de los biocombustibles (a través de cultivos energéticos) serviría para fijar población en esos territorios y frenar un proceso demográfico tan negativo. Desde una perspectiva diferente, los contrarios al uso energético generalizado de la biomasa (para usos térmicos o eléctricos) y de los biocombustibles (para el transporte) hemos venido razonando en un doble sentido. De una parte, negando la validez real de las tres razones esgrimidas anteriormente y, en segundo lugar, resaltando el mejor uso alternativo que, concretamente en un país como España, tiene la biomasa y sus residuos, a saber: cerrar los ciclos de materiales, devolviendo a la tierra, en forma de nutrientes, la materia orgánica que se le extrajo y, de paso, frenar el grave proceso de erosión que sufre una fracción considerable de nuestro territorio. A desarrollar estos argumentos dedicaré el resto del capítulo.

2. Razones para rechazar (desde un punto de vista ecologista) el uso de los biocombustibles como opción energética

Comencemos primero por discutir la veracidad de las bondades y ventajas ofrecidas por los biocombustibles.

a) *¿Es realmente cierto que los biocombustibles presentan un balance energético positivo?* La controversia en el movimiento ecologista sobre este punto era previsible pues tampoco la polémica ha sido ajena al ámbito científico. Algunos estudios de los años noventa y comienzos de esta década han tratado de demostrar que, en concreto, el bioetanol obtenido a partir del cultivo de cereales (sobre todo maíz) y su posterior fermentación y destilación, aporta mayor energía que la consumida en su producción y fabricación. Los resultados varían, según los estudios, desde un rendimiento neto adicional positivo del 34 por 100 - esto es: por cada kilocaloría gastada en la producción del biocombustible, obtenemos 1,34 kilocalorías en forma de etanol (Shapouri *et al.* 2002) -, al 36 por 100 (Wang *et al.* 1999), o finalmente hasta incluso el 49 por 100 (Lorenz y Morris, 1995). Bajo supuestos tecnológicos e hipótesis diferentes, otras estimaciones arrojaron ratios de eficiencia positivos de 1,98; 1,21; y 1,05 (Farrell *et al.* 2006; Koonin, 2006)³. Sin embargo, estos resultados contrastan con varias estimaciones que, precisamente, muestran un panorama muy diferente. Por ejemplo, David Pimentel y Tad Patzek han puesto de relieve que se utilizan 1,29 kilocalorías de combustibles fósiles por cada kilocaloría obtenida en forma de etanol (es decir un rendimiento *negativo* del 29 por 100); ratio que empeora si en vez de maíz se utiliza “pasto de aguja” (switchgrass), ya que en este caso el rendimiento negativo alcanza el 50 por 100, llegando incluso hasta el 59 por 100 cuando se utiliza madera aunque sea procedente de bosques gestionados de manera sostenible. Y la cosa no mejora tampoco cuando, en vez de etanol,

³ Las reacciones y críticas no se hicieron esperar y el número de 23 de junio recogía ya numerosas cartas de protesta de científicos diversos, entre los cuales se encontraban: Robert Costanza, Cutler Cleveland, Robert Herendeen, Robert Kaufmann, Tad Patzek, Thomas H. Deluca, Kay Brower, David Connor, Ines Mínguez, o Michael Palmer. Vid. “Letters”, *Science*, Vol. 31. 23 de junio, pp. 1.743-1.748.

hablamos de biodiesel: aquí los rendimientos *negativos* alcanzan el -27 por 100 si se obtiene a partir de soja o del -118 por 100 si se produce utilizando cultivo de girasol (Pimentel y Patzek, 2005; Pimentel, 2003a; Giampietro *et al.* 2006). De esta manera, los trabajos de Pimentel y sus colaboradores se vienen a sumar a otras investigaciones que, con diferencias en los porcentajes, ofrecen tendencias similares (Keeney, 1992; Giampietro *et al.* 1997). En el caso español, un reciente estudio del CIEMAT (CIEMAT, 2006) encargado de demostrar la viabilidad energética de este tipo de cultivos en la obtención de etanol, arrojaba sin embargo unos datos poco prometedores: en el mejor de los supuestos planteados (combustible con una mezcla de etanol del 15%), por cada unidad energética gastada en el proceso de producción y distribución se obtenían únicamente 0,96 unidades energéticas en forma de combustible.

En la explicación de las diferencias aparecen dos tipos de elementos. Una parte cabe achacarla a las distintas hipótesis mantenidas para la conversión en términos energéticos de los factores productivos de la agricultura (fertilizantes, maquinaria, herbicidas, etc.). Este sesgo se puede discutir y estaría razonablemente acotado. Sin embargo, el grueso de la discrepancia entre ambos tipos de estudios descansa, sobre todo, en la contabilización o no de *toda* la energía que *directa e indirectamente* se utiliza en la producción del etanol o el biodiesel⁴, es decir, *el ciclo de vida completo*: incorporando, por ejemplo, la energía necesaria para producir y reparar la maquinaria agrícola (y no sólo el combustible que utiliza ésta para funcionar), o la maquinaria del proceso de destilación y fermentación, etc⁵. Y es precisamente al incorporar todos estos elementos cuando el balance negativo hace su aparición⁶.

Pero es que, incluso aunque el resultado de los balances energéticos fuera positivo, la proliferación de cultivos energéticos no tiene ningún sentido por una sencilla razón que ya puso de relieve hace dos décadas José Frías: “...dados los elevados consumos energéticos de la agricultura actual procedentes de combustibles fósiles, la eficiencia energética de la producción de biomasa es muchas veces inferior a la unidad, es decir, que se consume más energía para obtener una unidad de biomasa que la proporcionada por ésta. *Pero aun en los casos en que la eficiencia energética sea superior a la unidad se trata simplemente de ‘cambiar’ por ejemplo, 10 toneladas de petróleo (energía no renovable) por el equivalente de 12 toneladas de petróleo en alcohol obtenido a partir de la biomasa. Así pues, el punto más débil para el desarrollo de la agroenergética lo constituye su dependencia de los combustibles fósiles, por lo que en definitiva el proceso resulta equivalente a un pequeño aumento del rendimiento energético del petróleo*” (Frías San Román 1985, 219) - énfasis mío -. Se podría alegar que, al proponer cultivos energéticos, se está pensando en recurrir a prácticas de agricultura ecológica (o cultivos como el cardo), menos intensivas en el uso de combustibles fósiles. Pero sería, al menos paradójico, que se pusiera un empeño especial en recurrir a esta estrategia cuando se quiere dedicar la superficie agrícola a producir energía, y en cambio se preste escasa atención y recursos cuando se trata de reconvertir ecológicamente los sistemas agrarios para mejorar sustancialmente la calidad de los alimentos y la salud de los ecosistemas.

⁴ A la posibilidad de utilizar los aceites vegetales usados para la elaboración de biodiesel me referiré más tarde.

⁵ Algunas diferencias entre el estudio de Shapouri, et al. (2002) y Pimentel (2003a, 2005) se encuentran en Pimentel, (2005), p. 69.

⁶ En el estudio del CIEMAT (2006) ya citado y aplicado al caso español, la eficiencia menor que uno obtenida sería todavía más reducida si se incluyeran los factores reseñados, factores que, sin embargo, se excluyen metodológicamente: “...las cargas relativas a la fabricación de maquinaria agrícola, los vehículos de transporte y las instalaciones de transformación del grano de cereal en etanol quedan excluidas. Es importante señalar que en la producción agrícola los procesos de fabricación de maquinaria agrícola sí pueden tener una aportación algo más significativa”.

b) En todo caso, los partidarios de los biocombustibles argumentan la reducción de las emisiones de CO₂ como una ventaja indiscutible de esta opción energética, que equilibraría los inconvenientes anteriores. Ahora bien, *¿es realmente cierto que la producción de biocombustibles resulta neutra desde el punto de vista de las emisiones de CO₂?* Aunque la explicación de la neutralidad ya ha sido expuesta anteriormente, cabe de todas formas hacer una importante matización que los partidarios de los biocombustibles suelen evitar. Tanto el proceso de cultivo como las fábricas de destilación y fermentación de etanol utilizan combustibles fósiles para su funcionamiento, a lo que habría que añadir la energía necesaria para la recogida y el transporte de las cosechas hasta la planta industrial. Si se hacen bien las cuentas, ¿cuál es entonces el balance neto de emisiones de CO₂ de un biocombustible como el etanol? ¿Son de verdad neutras? Tad W. Patzek ha realizado este cálculo de manera exhaustiva, es decir, incorporando también el resto de emisiones de gases con efecto invernadero (óxidos de nitrógeno, metano, etc.), que se generan en el proceso de cultivo y fabricación, y las ha transformado en toneladas de CO₂ equivalente. El resultado al que ha llegado es muy ilustrativo: en términos *netos*, por cada hectárea de maíz dedicada a la producción industrial de etanol en Estados Unidos se generan 3.100 kgs de CO₂ equivalente, lo que quiere decir que, si se quisiera satisfacer únicamente el 10 por 100 del consumo de combustible en ese país con etanol, las emisiones alcanzarían los 127 millones de toneladas (Patzek, 2004).

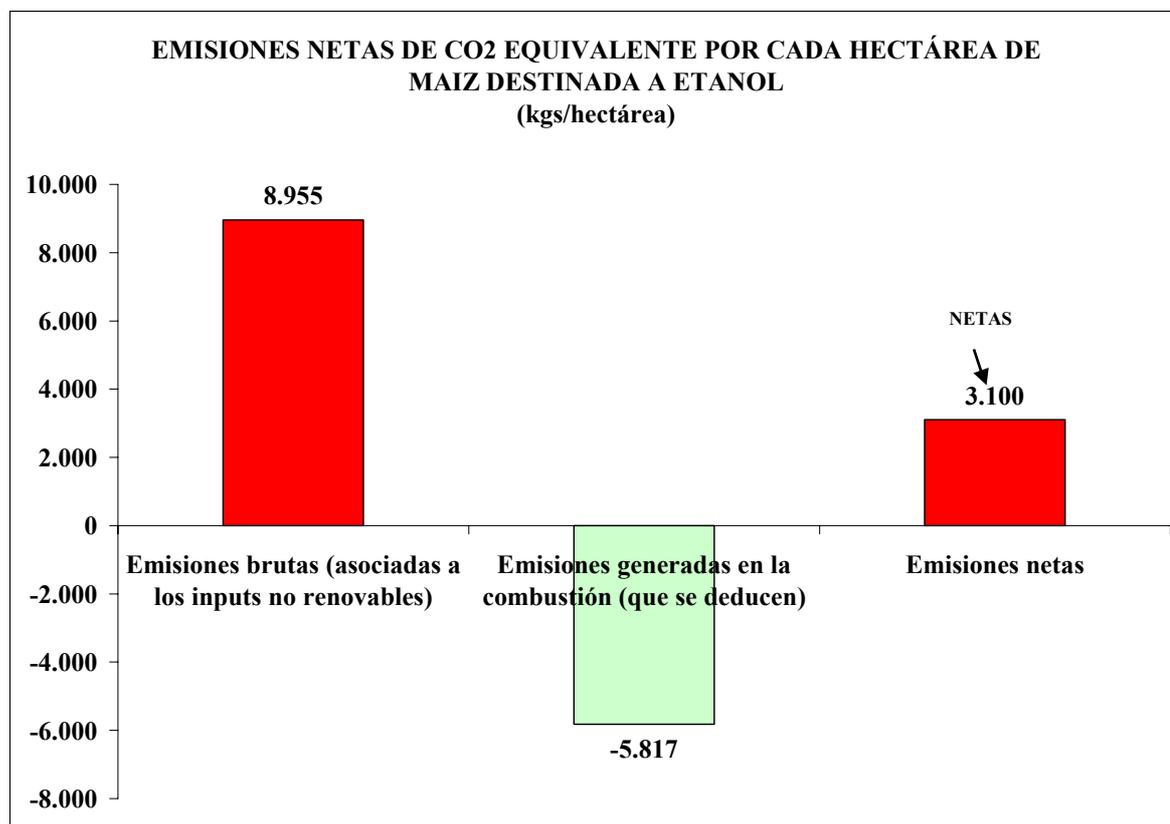


Figura 1. Emisiones netas de CO₂ equivalente por cada hectárea de maíz destinada a etanol (Fuente: Patzek, 2006).

c) Existe, por último, un tercer argumento que defiende los cultivos agroenergéticos como vías para mantener la población en el medio rural. Conociendo la historia del entorno rural y las transformaciones sufridas por el sector agrario en las últimas décadas, su utilización no me parece muy afortunada. Sinceramente, no creo (más bien lo contrario) que con la difusión y generalización de los cultivos energéticos - ya sea poniendo en producción tierras abandonadas, o desviando aprovechamientos actuales hacia otras vocaciones más energéticas -, se frene la

despoblación y el abandono del campo. Y ello por varias razones. En primer lugar, y paradójicamente, la agricultura moderna se ha convertido en un potente instrumento de expulsión de población del medio rural. El énfasis productivista (o mejor, *produccionista*, como acertadamente ha recordado Enric Tello) de la actual agricultura- espoleada en Europa por la Política Agraria Común (PAC) - ha fomentado un tipo de negocio agrario en el que el factor trabajo se va convirtiendo en un elemento marginal, donde predominan las grandes explotaciones de monocultivos, altamente dependientes de la industria tanto para la compra de inputs (maquinaria, fertilizantes, herbicidas, etc.) como para la venta de su output o producción. Y allí donde existía un sector autónomo y excedentario económica y financieramente, nos hemos encontrado con una actividad profundamente deficitaria- cuyas ayudas van a parar finalmente a pagar los préstamos para comprar los inputs que le vende el sector industrial - , y que no cumple ninguno de los objetivos por los cuales podría ser merecedora de ayudas: mantenedora de población rural, socialmente justa, y ecológicamente compatible con la salud de las personas y de los ecosistemas.

La PAC no satisface ninguno de estos requisitos como se puede ver claramente, por ejemplo, con la injusta asignación de las subvenciones entre las explotaciones, el deterioro y la contaminación ambiental de los agrotóxicos, y el desprecio por la salud de la población europea⁷. Y la puesta en marcha de cultivos energéticos dentro del mismo marco institucional seguramente no va a cambiar nada de eso. Posiblemente ampliará la dependencia de la agricultura respecto de la industria, incorporando ahora los intereses de las empresas energéticas⁸.

Las tres objeciones planteadas tienen, a mi juicio, suficiente peso para relativizar las bondades de los biocombustibles. Incluso aunque se pudiera discutir algún aspecto como el del balance energético, la sola presencia de análisis divergentes sobre esta cuestión debería ser ya motivo para aplicar, al menos, el *principio de precaución* en la producción de biocombustibles. Un principio, dicho sea de paso, muy querido por el movimiento ecologista y que habría también que poner encima de la mesa. Sobre todo cuando, al salirnos del ámbito específico de la energía, se observa que la producción de etanol o biodiesel no hace sino agravar directa e indirectamente la erosión y degradación del suelo (lo que es especialmente importante para España), además de ser un proceso muy exigente en utilización de agua (lo que también debería preocupar en nuestro territorio): se estima que para la producción de un litro de etanol se requieren entre 10-12 litros de agua en la fase de destilación, y entre 20-25 litros en la fase de fermentación, lo que supone en

⁷ Por ejemplo, el fenómeno de la Encefalopatía Espongiforme Bovina (EEB) conocido como el mal de las “vacas locas” ha puesto sobre el tapete las verdaderas prioridades de la PAC. No otra cosa se desprende de algunos documentos manejados por la Comisión Europea donde, *ya en 1990*, se podían leer frases como la siguiente: “Es necesario minimizar este problema de la Encefalopatía Espongiforme Bovina practicando la desinformación. Es mejor decir que la prensa tiende a exagerar (...) Hace falta tener una actitud fría para no provocar reacciones desfavorables en el mercado. No hay que hablar más de EEB. Ese punto no debe figurar en el orden del día (...) Vamos a pedir al Reino Unido que no publique más los resultados de sus investigaciones”. Comité Veterinario Permanente de la UE, (reunión del 9 y 10 de octubre de 1990): *Nota sucinta del ‘dossier’ sobre EEB*. Véase *El País*, 24 de enero de 2001, p. 28.

⁸ Que la preocupación de la administración en este asunto no es el mantenimiento de la población rural y el beneficio de los agricultores lo demuestra la composición del Grupo de Trabajo creado por el Ministerio de Agricultura (MAPA) para el estudio de los biocarburantes. Grupo que ha elaborado un documento titulado *Contribución del sector agrario español a la obtención de biocarburantes*, Madrid, Octubre 2006, y que estaba compuesto por tres empresas (Repsol, Acciona y Abengoa), un miembro del IDAE, un representante de la Oficina Económica del Gobierno y otro representante del MAPA. Ni rastro, como se ve, de los intereses de los agricultores. De hecho, el documento hace un llamamiento claro a incrementar las ayudas que deben recibir las empresas que se dedican a la producción de biocombustibles para hacerlos rentables en comparación con las subvenciones que reciben los agricultores para destinar el territorio a cultivos alimentarios.

total una exigencia de *entre 30 y 37 litros de agua por cada litro de etanol* (White y Johnson, eds., 2003, citado en Patzek, 2004).

No parece, por tanto, que la consideración de otros aspectos como la erosión o las exigencias hídricas de los cultivos que sirven de base a los biocombustibles jueguen a favor de esta alternativa. Máxime cuando se añaden algunas consideraciones relacionadas con la desmesurada ocupación de espacio que exigiría satisfacer el consumo de energía para el transporte con biocombustibles. Tal y como ha puesto de relieve la OCDE, alcanzar el 10 por 100 del consumo de combustibles en Estados Unidos con etanol requeriría el 30 por 100 de la superficie agraria total de ese país, porcentaje que en el caso de la Unión Europea (15 países) ascendería al 72 por 100 de su superficie agraria (Figura 2).

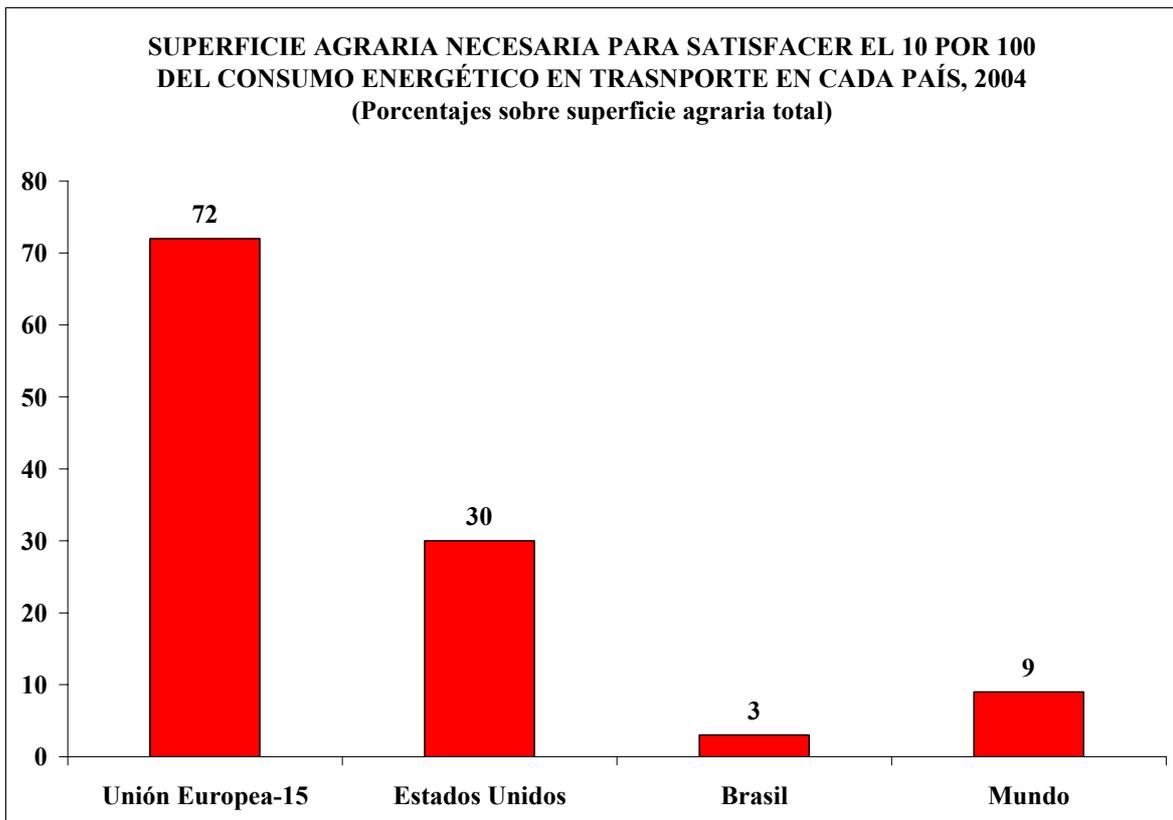


Figura 2. Superficie agraria necesaria para satisfacer el 10 % del consumo energético en transporte en cada país, 2004 (Fuente: OCDE, 2005).

Y cuando las cifras de consumo de grano para combustible se comparan con la cantidad necesaria para alimentar a una persona durante un año, el resultado es si cabe más demoledor: suponiendo que cada coche recorre por término medio 20.000 km/año con un consumo de 7 litros/100 km, esto supondría la utilización de 1.400 litros de etanol producido a partir de 3.500 kilos de grano. Es decir, aproximadamente *siete veces más grano* que el que necesita un individuo para alimentarse durante un año (en torno a media tonelada)⁹. Lo que nos lleva directamente al último de los efectos nocivos de la proliferación en el consumo de biocombustibles. Habida cuenta de que los países ricos no van a poner en cultivo esos millones de hectáreas necesarias para satisfacer su consumo de biocombustibles, ya se están desarrollando proyectos en países pobres de Latinoamérica, Asia y África para que éstos destinen una parte importante de su superficie agrícola a la plantación de cultivos energéticos para satisfacer el consumo de los países ricos,

⁹ Así lo calculan Connor y Minguez (2006, 1743).

poniendo así en mayor riesgo su seguridad alimentaria y aumentando sus servidumbres ambientales con los países “desarrollados”¹⁰ (Mae-Wan Ho y Elizabeth Bravo, 2006).

3. Argumentos contra el uso de la biomasa como opción energética

Una vez analizado el caso de los biocombustibles, resta por debatir los motivos que llevan también a dudar del uso de la biomasa con fines principalmente energéticos. Es cierto que el aprovechamiento térmico y (parcialmente) eléctrico de la biomasa (residual) no se enfrenta con las objeciones de eficiencia energética que, por ejemplo, se han detectado en el caso de los biocombustibles. Al tratarse, principalmente, de residuos agrícolas, ganaderos o forestales y, como tales, subproductos de la actividad principal, no se les debe computar ningún consumo energético, por lo que su quema sí que arrojaría un balance positivo.

A pesar de ello, la razón más importante para dudar de una estrategia energética como ésta descansa en otro hecho. Con las características edáficas de un territorio como la Península Ibérica, en el que avanzan de manera importante los procesos de erosión y desplazamiento de materia orgánica vinculados a actividades antrópicas (agricultura, urbanización y construcción de infraestructuras) (Martínez y Esteve, 2006), sabemos que *existe un destino alternativo más provechoso para esos residuos agrícolas, ganaderos y forestales, que contribuiría a cerrar los ciclos de materiales de las actividades agrarias, y a paliar los procesos erosivos: la elaboración de compost y la devolución al terreno de aquella parte que previamente se ha extraído en forma de materia orgánica y nutrientes con la recolección de los cultivos.*

Como se ha recordado ya hace varios lustros, dada la preocupante situación de nuestros suelos, si quisiéramos elevar hasta el 2 por 100 su contenido de materia orgánica, necesitaríamos un aporte anual de 232 millones de toneladas, equivalentes a 6,5 tm/ha/año durante una década (MOPU, 1980; Del Val, 1999, 30). Una parte de ellos están representados en los más de 40 millones de toneladas de residuos de cultivos, a los que podríamos sumar los casi 90 millones de estiércol ganadero y los más de 15 millones de residuos sólidos urbanos que incorporados arrojarían una cifra cercana a los 150 millones de toneladas. Sólo así se podría contribuir a reducir tanto los efectos erosivos de origen antrópico, como aquellos relacionados con fenómenos meteorológicos naturales como la velocidad del viento o el impacto producido por las gotas de lluvia sobre el suelo. “Cuando el 20 por 100 de la superficie del suelo - recuerda Vaclav Smil - se cubre de residuos, la erosión será un 50 por 100 menor que en ausencia de ellos, y una cobertura del 90 por 100 puede reducir la erosión hídrica en más del 93 por 100 en comparación con el suelo al descubierto” (Smil 1999, 303). Ahora bien, la magnitud del daño se hace más patente si caemos en la cuenta de que el “suelo fértil” es un recurso *renovable* un tanto especial, pues el tiempo necesario para su “renovación” lo convierte a efectos prácticos en un recurso *no renovable*. “En condiciones naturales de cubierta vegetal - recuerda Robert Allen -, la Naturaleza tarda de cien a cuatrocientos años en generar diez milímetros de capa superior de suelo; y se necesitarían de 2.000 a 8.500 años para generar suelo hasta una profundidad de 20 cm. Así pues el suelo, a efectos prácticos, una vez desaparecido, ha desaparecido para siempre” (López Linage 1987, 260).

¹⁰ Por ejemplo, las recientes tensiones en los precios de algunos cereales como el maíz —espoleadas por la demanda de Estados Unidos para producir etanol— han dado lugar a importantes protestas sociales en México a comienzos de 2007 debido al efecto sobre el aumento de los precios de la tortita de maíz (alimento básico de la población mexicana).

En un país donde la agricultura sigue ocupando un fracción importante del territorio, la erosión sigue siendo preocupante, y la materia orgánica no abunda especialmente, *resulta un lujo completamente innecesario quemar la biomasa para obtener energía*. Sobre todo porque el coste de oportunidad es muy alto. El uso energético de la biomasa entra en competencia con su aprovechamiento en forma de compost y lo más inteligente, dadas las circunstancias, es emplearlo en aquello que ofrece mejores resultados desde el punto de vista de la conservación de los ecosistemas y la propia agricultura. La energía se puede obtener utilizando más eficientemente la ya disponible - o de forma renovable con tecnología solar o eólica - , pero *es obvio que ningún panel fotovoltaico o molino de viento nos va a proporcionar la materia orgánica necesaria para abonar nuestros campos*¹¹. No hay que olvidar, además, otro elemento fundamental. Si queremos tener una visión integrada de la gestión ambiental, y a la vez ser coherentes con nuestras propuestas para alcanzar una economía sostenible, la transformación ecológica del sistema agropecuario necesitará del abono orgánico necesario para nutrir los cultivos de la propia agricultura ecológica. Pero si decidimos quemarlo, ¿cómo abasteceremos de materia orgánica a nuestras explotaciones de agricultura ecológica? ¿Cómo lograrán proporcionarnos alimentos saludables y conservar adecuadamente los ecosistemas agrarios?

4. Reducir nuestras contradicciones y calibrar la bondad de las dos alternativas

Seguramente, la mejor manera de reducir las contradicciones internas en un asunto importante - como lo es éste para el movimiento ecologista - , sea comparar cada una de las alternativas propuestas con los principios generales que inspiran nuestros análisis y prácticas como tal movimiento social. Así, de paso, se calibra hasta qué punto las dos posibilidades presentan rasgos más o menos contradictorios con esos principios, y se puede elegir con mayor coherencia.

Si, para empezar, tuviéramos que sintetizar en un puñado de rasgos los elementos que, desde el punto de vista de la economía ecológica - y del propio movimiento ecologista - , caracterizan a una economía industrial como sostenible, es probable que, como mínimo, estuviéramos de acuerdo en estos tres principios (por lo demás bien conocidos): 1) Como cuestión general, la reducción en el uso masivo de los recursos naturales (energía y materiales) y, por lo tanto, en la generación de residuos en todas sus formas (sólidos, líquidos o gaseosos); 2) Desde el punto de vista energético, la articulación de los modos de producción y consumo sobre fuentes de energía renovables; y 3) En lo tocante a los materiales, afanarse en *cerrar los ciclos* convirtiendo los residuos de nuevo en recursos aprovechables a través de su reutilización y reciclado. Han sido precisamente las condiciones 2) y 3) las que han permitido definir como *sostenible* el modo de producción propio de la biosfera durante millones de años, y a eso mismo debemos aspirar si queremos cumplir el manido objetivo de “satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

A la defensa de estos principios y a su aplicación han destinado muchas personas del movimiento ecologista tiempo y energía durante décadas, como también lo han hecho a llamar la atención sobre el carácter transversal de casi todas las cuestiones ambientales. Es decir: resulta necesario gestionar integralmente nuestro medio ambiente, saber que cuando hablamos de recursos estamos también hablando de residuos, de ordenación del territorio, etc. Que las acciones que se toman para resolver un “problema” en un ámbito pueden tener repercusiones negativas y contraproducentes en otros, por lo que es necesario tener una visión de conjunto que evite la racionalidad parcelaria a costa de la irracionalidad general.

¹¹ Cabría hacer una excepción con el aprovechamiento térmico de ciertos residuos forestales en núcleos rurales cercanos al monte.

¿Cuál, entonces, de las dos alternativas discutidas se corresponde en mayor medida con los principios enunciados? En primer lugar, y a pesar de que siempre hacemos énfasis en la necesidad de *reducir* el uso de recursos y, por tanto, la generación de residuos, las discusiones y presiones ordinarias nos suelen llevar sin solución de continuidad hacia el ámbito de la gestión. No me parece razonable entrar a discutir nuevas formas de abastecimiento energético (aunque sean “renovables”) sin antes exigir que se acometan seriamente planes de ahorro y eficiencia que reduzcan el uso de energía. Obviamente, esta medida proporciona un amplio margen siendo España el país de la UE más despilfarrador e ineficiente en el uso energético.

Por eso mismo, en segundo lugar, me parece más necesario que nunca revitalizar el enfoque de gestión de la demanda en este, en la línea del notable *Plan de ahorro y eficiencia en el consumo eléctrico. Horizonte 2015*, presentado recientemente por Ecologistas en Acción¹², y al que se podrían acompañar otra serie de medidas en el ámbito del transporte, la industria y el uso residencial. Siendo tantas las posibilidades por explorar en este terreno no sería sensato dar alas al viejo enfoque de oferta, es decir, de ampliación de la disponibilidad energética (aunque sea con biocombustibles y biomasa), pues el énfasis y la discusión sobre la “bioenergía” evitaría, por enésima vez, prestar atención al ahorro y la reducción.

Por otro lado, se minimizarían las incoherencias de nuestro discurso si simplemente trasladásemos al ámbito energético lo que llevamos tiempo defendiendo en la gestión del agua en España. Sería deseable, además, no caer aquí en la trampa que la administración y los regantes han querido tendernos en materia hídrica, y que sabiamente hemos evitado. En efecto, en los debates sobre el último *Plan Hidrológico Nacional* se dijo que el trasvase era necesario puesto que el “déficit hídrico” del litoral no se cubría con los hectómetros cúbicos adicionales obtenidos con medidas de ahorro y eficiencia (reparación de redes de distribución, riego por goteo, etc.) que ya habían sido considerados. Por lo tanto, las necesidades seguían siendo superiores a las disponibilidades, y esto justificaría el trasvase. Afortunadamente, la falacia del argumento fue puesta de relieve, con vigor y buenas razones, por el movimiento ecologista y la nueva cultura del agua. Y si este razonamiento de vieja cultura del agua nos pareció *inaceptable* en el caso hídrico - porque es preciso poner coto a las demandas injustificables, pues los trasvases antes y las masivas desaladoras ahora sirven para cebar la bomba de un modelo agrario, productivo y turístico ampliamente destructivo del litoral - , igual de inaceptable nos lo debe parecer ahora cuando discutimos sobre energía.

En tercer lugar, la articulación del modo de producción y consumo sobre fuentes de energía renovables (y no emisoras de gases con efecto invernadero) nos lleva directamente a poner un mayor énfasis en la sustitución de los combustibles fósiles y la energía nuclear, por tecnologías solares y eólicas, que ofrecen menores impactos ambientales y costes de oportunidad que los biocombustibles o la biomasa. La defensa ecologista de la energía solar y de la eólica es un hecho demostrado desde hace tiempo, pero dado el actual marco institucional de expansión de la biomasa y los Biocombustibles - que comentaré en el último apartado - se hace más necesario que nunca redoblar el énfasis en estas energías, sobre todo la solar.

Por último, convendría saber cuál de las dos alternativas responde mejor al objetivo de *cerrar los ciclos de materiales*. En este asunto, y teniendo en cuenta los argumentos previos, existen pocas dudas de que el aprovechamiento de la biomasa en forma de abono y compost, que devuelve a la tierra los nutrientes y la materia orgánica que previamente se extrajeron de ella, cumple mejor ese

¹² Y en el que se plantean reducciones en el consumo eléctrico de hasta el 35 por 100.

requisito que el uso energético de la misma. A estas razones habría, además, que sumar otras dos. De un lado, la aportación de la biomasa y los biocombustibles al consumo energético global sería muy reducida, comparada en cambio con el gran servicio que prestaría como enmendante y abono para la agricultura. Por otra parte, perseguir este último uso para la biomasa resulta coherente con la política de gestión de residuos urbanos que el movimiento ecologista viene defendiendo desde hace años: la separación en origen de la materia orgánica compostable para su aprovechamiento como abono¹³. ¿Cómo defender la separación en origen de la fracción orgánica si luego va a tener una finalidad energética? Difícilmente.

5. Frenar algunos despropósitos de las políticas energéticas públicas

Después de todas estas consideraciones, resulta triste que, a pesar de los esfuerzos del Ministerio de Medio Ambiente, las previsiones públicas en materia energética - algunas de ellas plasmadas en la *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (2004-2012)* y, sobre todo, el *Plan de Energías Renovables (PER 2005-2010)*¹⁴ - hayan hecho oídos sordos de las cautelas y argumentos anteriores. Hay varias razones para pensar así:

- 1) En relación con la *Estrategia...*, mal empezamos si se asume de partida - y sin ninguna justificación razonable - , que el consumo de energía aumentará un 3,3% anual acumulativo entre 2000 y 2012. Y que, una vez fijado esto, se plantee como objetivo estratégico que el consumo *aumente finalmente “sólo” un 2,5%, anual*, quedando así como un logro del ahorro y la eficiencia el 0,8% anual restante¹⁵. Una estrategia de ahorro y eficiencia que, en vez de aspirar a reducciones o, en su caso, estabilizaciones del consumo, presenta incrementos en la utilización de la energía no puede ser nada bueno¹⁶.
- 2) Por otra parte, este incremento final se hace coincidir con una expansión general de las renovables, pero también con un hecho sorprendente y paradójico que no parece haber sido objeto de mucha reflexión crítica. El PER 2005-2010 prevé llegar al final del período con una producción de 10.481 ktep (miles de toneladas equivalentes de petróleo), de las cuales 3.488 ktep serían aportadas por centrales de biomasa, 1.552 por co-combustión de biomasa, y 1.972 ktep con biocarburantes. Es decir, *el 66% de la producción energética de fuentes renovables se hará con cargo a la biomasa y sus derivados (biocombustibles)*¹⁷, mientras que la aportación de la energía solar (fotovoltaica, termoeléctrica y térmica de baja temperatura) sería marginal: 882 ktep, esto es, sólo el 8,4% de la producción (Figura 3).

¹³ Esto es lo que se propuso sin éxito en el caso de Madrid, y se logró en ciudades como Córdoba o Valladolid, evitando, de paso, la proliferación del famoso contenedor amarillo que tanto perjuicio está creando en la gestión sensata de los residuos municipales.

¹⁴ Ambos documentos están disponibles en www.idae.es.

¹⁵ Esta forma de actuar empieza a ser sonrojante y recuerda - pero al revés - a algunas prácticas de empresas privadas que, ante previsiones exageradas de beneficios, estiman pérdidas cuando los beneficios finalmente alcanzados son inferiores a las previsiones.

¹⁶ Lo que es una pena, pues varias de las medidas de ahorro sectoriales propuestas en este documento tienen todo el sentido, pero se quedan en agua de borrajas ante un planteamiento general tan poco ambicioso.

¹⁷ Y ello sin considerar las 583 ktep destinadas de biomasa para fines térmicos que, por lo dicho más adelante en la nota 38, no incorporo en este cálculo. De hacerlo, el porcentaje superaría el 70 por 100 (Ministerio Industria, Turismo y Comercio/IDAE, 2005).

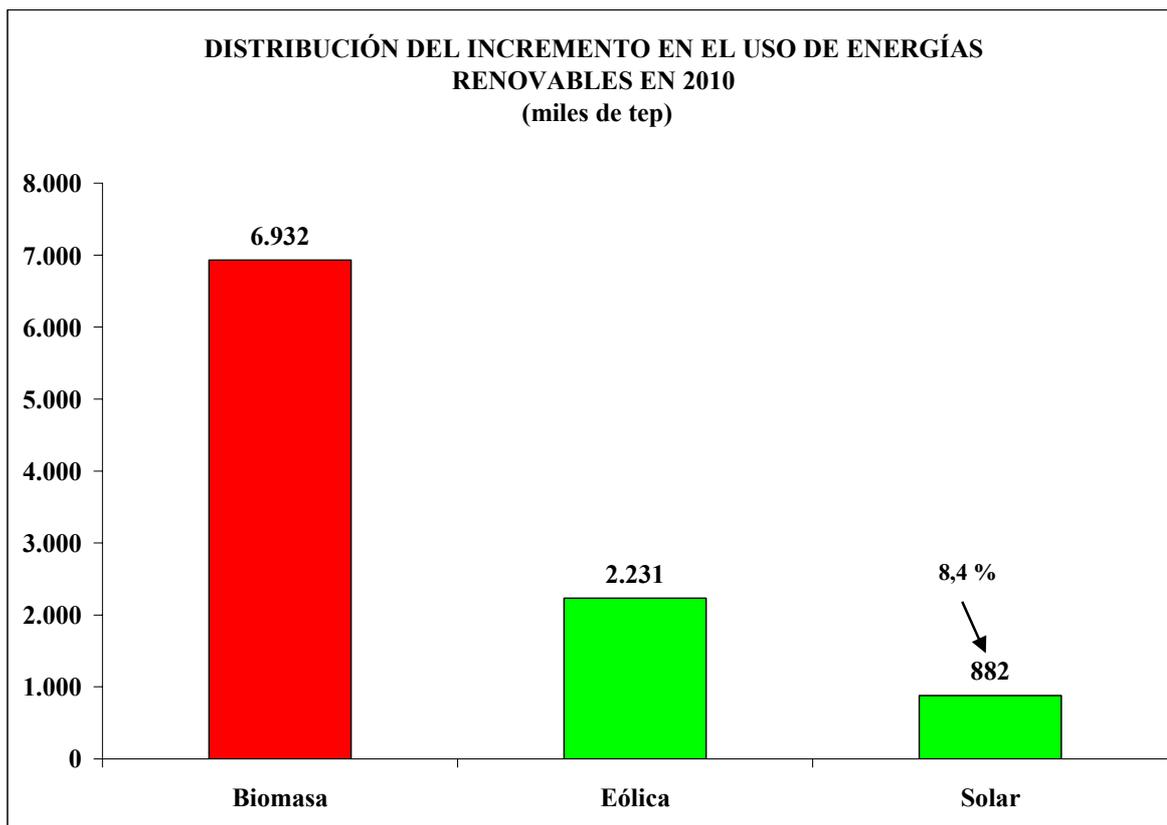


Figura 3. Distribución del incremento en el uso de energías renovables en 2010 (Fuente: PER 2005-2010).

- 3) Igual de criticable resulta que, con los costes ambientales ya descritos en términos de consumo de energía y emisiones de los biocombustibles, se salude positivamente la posición récord que España ocupa en la producción de bioetanol a escala europea. Producción que se pretende complementar con un incremento sustancial de biodiesel con cargo a aceites vegetales *puros* - no usados - (sobre todo colza)¹⁸. Si a esto añadimos que, como el propio Ministerio de Agricultura reconoce, más de la mitad del aceite necesario para la producción de biodiesel procede del exterior¹⁹, *quedan claras las amenazas de servidumbre ambiental que esta opción energética está generando sobre los países más desfavorecidos, que ven incrementadas sus hectáreas de tierra destinadas a la plantación de cultivos energéticos para consumo de los países ricos, mientras dejan de destinar esas mismas tierras a garantizar la seguridad alimentaria.*
- 4) Tampoco es razonable el énfasis en vincular los cultivos energéticos no sólo a la fabricación de biodiesel, sino también a incrementar la biomasa disponible para usos energéticos más allá de los residuos agrícolas, ganaderos o forestales disponibles: concretamente *1.908.300 tep se pretenden lograr con cargo a cultivos energéticos, es decir, casi la mitad de la producción energética con biomasa en 2010.* De esta manera, desaparece incluso el supuesto “balance energético positivo” del uso de estos residuos de biomasa, incorporándose todos los inconvenientes ya expuestos para el caso estricto de los biocombustibles.

¹⁸ El objetivo a cumplir en 2010 es llegar a las 1.221.000 tep de biodiesel, con 1.021.000 tep de aceites puros y 200.000 tep procedentes de aceites usados. Como se puede ver, no parece que el argumento del reciclaje de aceites usados sea determinante para la generalización del biodiesel.

¹⁹ Nota de Prensa de 15 de junio de 2006.

- 5) Este empeño energético contrasta no solo con las limitaciones y pobreza de materia orgánica de nuestros suelos, sino también con el escaso énfasis en las excepcionales condiciones que en energía solar tiene España en comparación con los países de nuestro entorno. Así, resulta sorprendente que Alemania —con mucha menos irradiación que España— esté a la cabeza europea en potencia instalada solar fotovoltaica (403 MW en 2003), mientras que España aparezca con una potencia *15 veces inferior* (26,9 MW), por debajo incluso de los Países Bajos que, con mucha menos extensión territorial, casi nos duplican en potencia instalada (50,5 MW) (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio/IDAE, 2005), (Figura 4). Convendría recordar, además, que estas cifras de potencia solar fotovoltaica en España quedan muy por debajo de los 45 MW que, por ejemplo, Ecologistas en Acción —en colaboración con dos organizaciones sindicales— proponía hace ya una década para el año 2000 (AEDENAT, CC.OO., UGT, 1995).

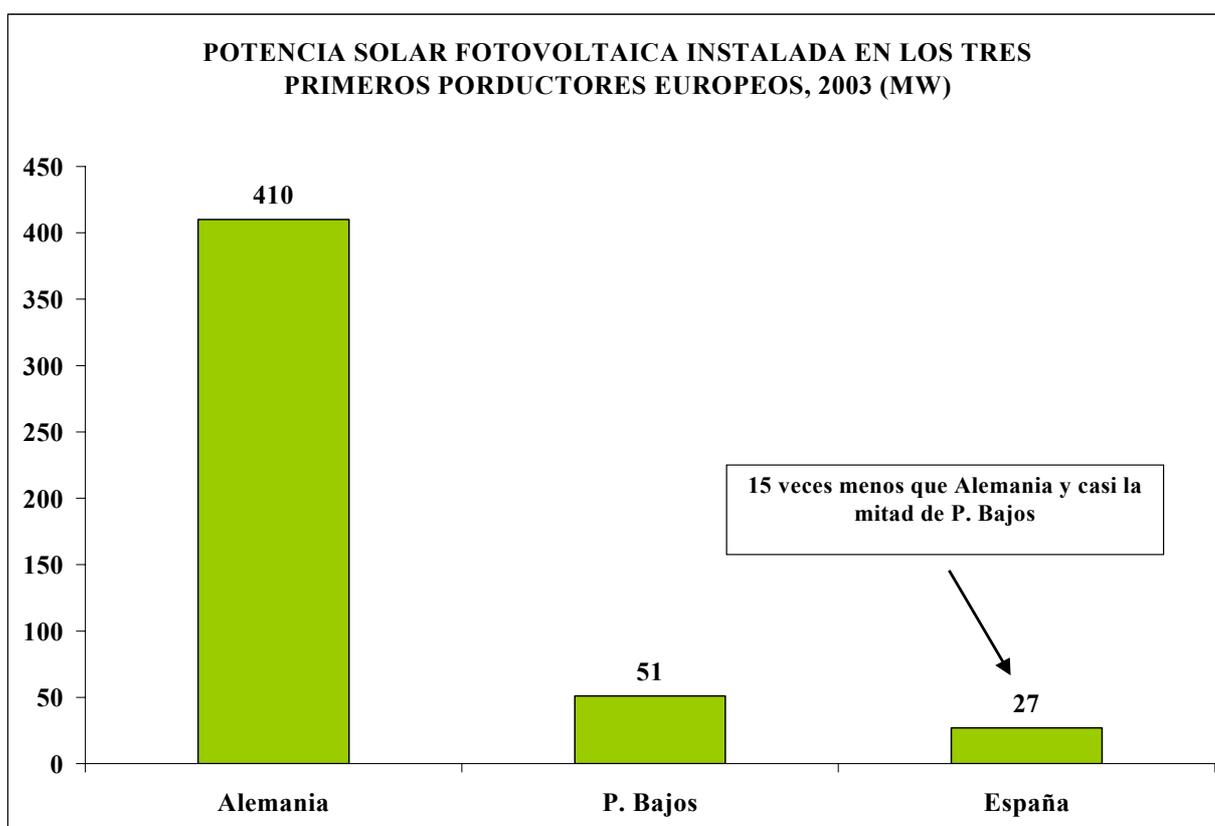


Figura 4. Potencia solar fotovoltaica instalada en los tres primeros productores europeos (Fuente: PER 2005-2010).

- 6) Finalmente, estas prioridades equivocadas tienen también su paralelo presupuestario. Así, las ayudas públicas (directas, primas y exenciones) al aprovechamiento energético de la biomasa y de biocarburantes alcanzarán en 2005-2010 los 6.513 millones de euros, es decir: *5,8 veces más que los 1.107 millones destinados a la promoción de la energía solar en todas sus formas* (Figura 5). Esta es sin duda una asignación de dinero público y de prioridades muy desafortunada, habida cuenta de nuestras mejores condiciones y ventajas para la expansión de la energía solar en comparación con la biomasa. Por ello es difícil comprender, por ejemplo, cómo el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo está financiando con más de 22 millones de euros de dinero público, por cuatro años, a un grupo de empresas lideradas por Repsol-YPF para la realización de un Proyecto de Investigación y Desarrollo sobre biodiesel. Un proyecto que, por sí solo, supone el

equivalente a la mitad del apoyo público a la inversión en instalaciones de energía solar fotovoltaica para 2005-2010, cifrado en 42 millones de euros (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio/IDAE, 2005).

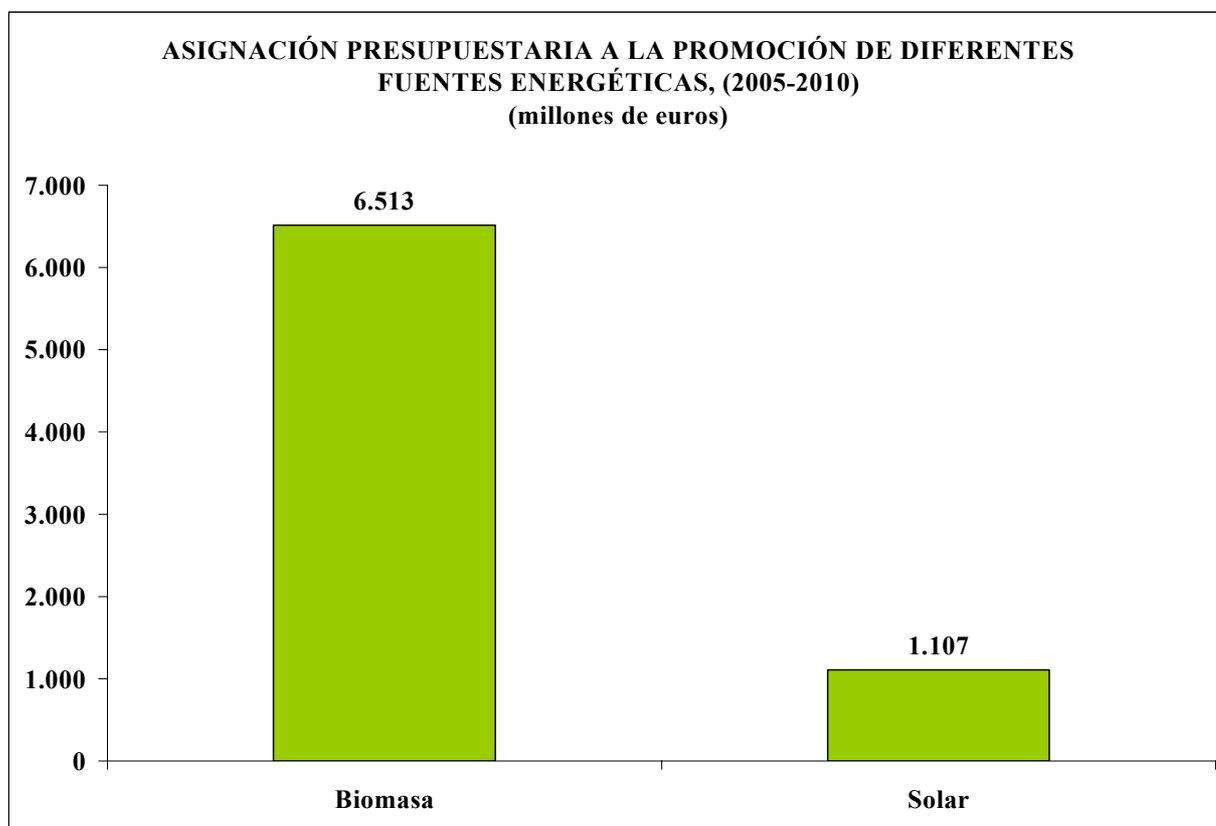


Figura 5. Asignación presupuestaria a la promoción de diferentes fuentes energéticas (2005-2010) (Fuente: PER 2005-2010).

6. Una propuesta final para avanzar

En las páginas previas he tratado de aportar razones y argumentos para reconsiderar la posición favorable al uso energético de la biomasa y sus derivados (biocombustibles) tanto de una parte del movimiento ecologista, como de las políticas públicas en materia energética. Resumiendo, esta reconsideración debería incluir varios aspectos que, por otro lado, forman parte de nuestra propia tradición desde hace años:

a) Redoblar los esfuerzos en promover una “nueva cultura energética” de gestión de la demanda - por analogía con lo defendido en materia hídrica - , que ponga el énfasis en el ahorro, la eficiencia, la movilidad y la ordenación del territorio como elementos clave para reducir el consumo energético. Ante la pasividad de los poderes públicos en esta materia, parece obligado que, desde el movimiento ecologista, pongamos esta cuestión sobre la mesa antes de discutir cualquier ampliación de la oferta energética cuyos costes ambientales parecen claros.

b) Un decidido apoyo a la energía solar en sus diferentes modalidades como vehículo de sustitución de los combustibles fósiles, habida cuenta las “ventajas comparativas” de nuestro territorio, su menor impacto ambiental, y el escaso apoyo público recibido.

c) Conectar la política de residuos con la biomasa y con el principio de cerrar los ciclos de materiales en los procesos productivos, la promoción de la agricultura ecológica y la lucha contra

la erosión. Por esta razón, el uso óptimo de la biomasa y sus derivados debe ser la elaboración de abono orgánico que resulta, claramente, la utilización más idónea en nuestro país²⁰.

Estoy convencido de que aquellos que, dentro del movimiento ecologista, proponen el uso energético de la biomasa y los biocombustibles lo hacen con buena voluntad y piensan honestamente que es una buena solución. Como creo que lo que nos une en el resto de aspectos relacionados con la política ambiental es muy superior a lo que nos separa, propongo que, a la vista de los argumentos presentados, logremos clarificar y reconsiderar nuestra posición sobre este notable asunto. Nos van en juego cosas importantes. Entre ellas avanzar, aunque sea con pequeños pasos, hacia una economía y sociedad más sostenibles. No dejemos, pues, que “el porcentaje de biocombustibles” que nos proponen desde arriba se convierta en una rémora de la que luego tengamos que arrepentirnos.

Referencias bibliográficas

AEDENAT, CCOO, UGT. Una propuesta para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica, 1995.

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.php3?id_article=396

Carpintero, O. El metabolismo de la economía española: Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000), Fundación César Manrique, Lanzarote, 2005.

CIEMAT. Análisis de ciclo de vida de combustibles para transportes. Fase I. Análisis del ciclo de vida comparativo del etanol de cereales y de la gasolina, Madrid, 2005.

Comisión de Energía (Ecologistas en Acción Madrid). Utilización energética de la biomasa, *El Ecologista*, 32, 2002.

Connor, D. I. Miguez. “Letter to Science”, *Science*, vol. 312, p. 1743, 2006.

Del Val A. ¿Qué estamos haciendo con nuestros residuos?, *El Ecologista*, 30, 2002.

Del Val A. El aprovechamiento de los residuos orgánicos fermentables, *Gaia*, 16, 1999.

Del Val A. El libro del reciclaje, Ed. Integral. 1997.

Ecologistas Martxan. Incidencia ambiental del empleo de biomasa con fines energéticos, Iruña, 2002.

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

²⁰ Se podrían valorar dos excepciones, muy bien tasadas: a) El uso térmico de la biomasa forestal en poblaciones rurales, ligadas al territorio donde se genera el residuo, y que tradicionalmente le han dado ese uso; y b) el reciclaje de aceites vegetales usados mientras no se encuentre una alternativa mejor para su reutilización. En ambos casos, se trataría, como se ve, de opciones minoritarias, acotadas en el espacio y en el tiempo, y que no justificarían los ambiciosos planes de aprovechamiento energético de la biomasa y los biocombustibles.

Frías San Román, J.M. Posibilidades de aprovechamiento económico de la biomasa residual, *Agricultura y Sociedad*, 34, 1985.

Giampietro, M., K. Mayumi, J. Ramos-Martín. Can biofuels replace fossil energy fuels? A Multi-scale integrated analysis based on the concept of societal and ecosystem Metabolism: part 1, *International Journal of Transdisciplinary Research*, Vol. 1, No. 1, 2006.

Giampietro, M., S. Ulgiati, D. Pimentel. Feasibility of large-scale biofuel production, *BioScience*, 47, 1997.

Greenpeace. *Renovables 2050*, Madrid, 2005.

Keeney, D.R., T.H. De Luca. Biomass as an Energy Source for the Midwestern U.S., *American Journal of Alternative Agriculture*, Vol. 7, 1992.

Koonin, S.E. Getting serious about biofuels, *Science*, vol. 311, 2006.

López Linage, J. Crecimiento urbano y suelo fértil. El caso de Madrid en el período 1956-1980, *Pensamiento Iberoamericano*, 12, 1987.

Lorenz, D., D. Morris. How much energy does it take to make a gallon of ethanol? Revised and Updated, Institute for Local Self-Reliance, Washington, DC, 1995.

Mae-Wan Ho, E. Bravo. Which energy? Institute of Science and Society (www.i-sis.org.uk), 2006.

Martínez, J., M.A. Esteve. Desertificación en España: una perspectiva crítica, *El Ecologista*, 48, 2006.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio/IDAE. Plan de Energías Renovables –PER- (2005-2010), Madrid, 2005.

MOPU. Estudio sobre aprovechamiento de basuras, producción y utilización de compost, Madrid, 1980.

MAPA. Grupo que ha elaborado un documento titulado Contribución del sector agrario español a la obtención de biocarburos, Madrid, Octubre 2006.

OCDE. Agricultural markets impacts of future growth in the production of biofuels, Paris, 2005.

Patzek, T. Thermodynamics of the Corn-Ethanol Biofuel Cycle, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23(6), 2004. Versión actualizada de 2006 en: <http://petroleum.berkeley.edu/papers/patzek/CRPS416-Patzek-Web.pdf>

Pimentel, D., T.W. Patzek. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel, Production Using Soybean and Sunflower, *Natural Resources Research*, 14, 2005.

Pimentel, D. Ethanol fuels: energy balance, economics and environmental impacts are negative, *Natural Resources Research*, 12, 2003a.

Pimentel, D. Ethanol fuels: energy, security, economics and the environment, *Journal of Agriculture, Environment and Ethics*, 4, 2003b.

Ragauskas, A.J., C. K. Williams, B. H. Davison, G. Britovsek, J. Cairney, C. A. Eckert, W. J. Frederick, Jr., J. P. Hallett, D. J. Leak, C. L. Liotta, J. R. Mielenz, R. Murphy, R. Templer, T. Tschaplinski. The path forward for biofuels and biomaterials, *Science*, vol. 311, 2006.

Riechmann, J. Con los ojos abiertos. *Ecopoemas (1985-2006)*, Ediciones Baile del Sol, Lanzarote, 2007.

Shapouri, H., J.A. Duffield, M. Wang. The Energy Balance of Corn-Ethanol: An Update, U.S. Department of Agriculture, *Agricultural Economic Report No. 814*, 2002.

Smil, V. Crop residues: Agriculture's largest harvest, *BioScience*, vol. 49, 1999.

Tomé Gil, B. Los biocarburantes o biocombustibles líquidos, *El Ecologista*, 47, 2006.

Wang, M., C. Saricks, D. Santini. Effects of FuelEthanol Use on Fuel-Cycle Energy and Greenhouse Gas Emissions, U.S. Department of Energy, Argonne National Laboratory, Center for Transportation Research, Argonne, IL, 1999.

White, P. J., L. A. Johnson. (eds.). *Corn Chemistry and Technology Handbook*, American Association of Cereal Chemists, 2003.