

cultivos energéticos

Antonio Valero, Fernando Sebastián, Javier Royo y Jesús Pascual
Grupo de Investigación de Biomasa de CIRCE

1. Introducción

La biomasa ha sido utilizada como fuente de energía por la humanidad en la mayor parte de su devenir a lo largo de la historia. Desde la combustión de hierbas, matorrales y leñas en los primeros tiempos, hasta nuestros días, en los que ya no sólo se recogen los residuos biomásicos (forestales, agrícolas, agroindustriales, etc.), sino que también se procede al cultivo de algunas especies con el único objetivo de realizar un aprovechamiento energético de los productos obtenidos, en lo que se ha venido a llamar, de forma genérica, cultivos energéticos.

Si bien el salto cuantitativo del incremento en el uso de la biomasa como combustible es importante, más significativo todavía que éste es el salto cualitativo en su forma de utilización. En este sentido se está produciendo un desarrollo de las tecnologías que permiten el uso de la biomasa no sólo en calderas individuales sino en instalaciones más complejas como son las plantas de producción eléctrica, las de cogeneración, las de calefacción de distrito, las de producción de biocarburantes, etc. (ver epígrafe 4). Este desarrollo tecnológico conlleva una mejora de la eficiencia y la disminución de los costes de fabricación de equipos e instalaciones favoreciendo, a su vez, el incremento de la demanda de biomasa. Así, el crecimiento del mercado hace más interesante la inversión en actividades de investigación y desarrollo, creciendo conjuntamente la demanda y la tecnología.

Interés de los cultivos energéticos.

Existen tres tipos de razones que justifican la existencia de un interés creciente en el desarrollo de estos cultivos. La primera y quizá más importante, común a todas las fuentes de energía renovables, es medioambiental y procede de la necesidad de actuar para frenar el cambio climático, reduciendo la emisión de los gases causantes del llamado efecto invernadero.

En 1997, dentro de la Tercera Conferencia de las Partes del Convenio marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático se redactó el documento llamado *El Protocolo de Kyoto* [I], en el que, entre otras medidas, se aboga por un uso eficiente de la energía así como por la investigación, desarrollo e incremento de la contribución de las fuentes de energía renovables.

Prácticamente de forma simultánea a la aparición del Protocolo de Kyoto, conociendo sus líneas principales y con el propósito de lograr los objetivos en él establecidos, en el marco de la Unión Europea se publica la comunicación de la Comisión "Energía para el futuro: fuentes de energía renovables. Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios" [II]¹. En él se establece como principal objetivo alcanzar una participación de las energías renovables en

1. Habitualmente llamado Libro Blanco de las Energías Renovables.

la producción de energía primaria del 12% para el 2010, implicando que cada estado miembro tiene que fomentar la utilización de las fuentes de energía renovables de acuerdo con su propio potencial.

Según este documento, para conseguir el objetivo mencionado el mayor incremento en la contribución de las renovables debe corresponder a la biomasa, que debería pasar de 44,8 Mtep² en 1995 a 135 Mtep en 2010. Esto significa un incremento del uso de la biomasa equivalente a la producción de todas las fuentes de energía renovables en 1995. A este cuantioso aporte deben contribuir los cultivos energéticos con 45 Mtep de los cuales aproximadamente 18 Mtep corresponderían a los biocarburantes y 27 Mtep a biomasa destinada a la producción de energía térmica y eléctrica.

En el ámbito nacional, el Plan de Fomento de las Energías Renovables (IDAE, 1999) [III] recoge los principales elementos y orientaciones para articular la estrategia que posibilite el crecimiento de cada una de las energías renovables, de manera que en conjunto cubran al menos el 12% del consumo de la demanda total española de energía en el año 2010, es decir, alcanzar los objetivos del Libro Blanco de las Energías Renovables. Este Plan prevé que para el año 2010 se habrán implantado cultivos energéticos en al menos un millón de hectáreas de secano semiárido (o en una superficie equiproductiva) de forma que la biomasa obtenida anualmente contenga una cantidad de energía equivalente a la de 3.3 millones de toneladas de petróleo.

La segunda razón para fomentar la utilización de los cultivos energéticos es de tipo socioeconómico y está relacionada con la complicada situación por la que atraviesa el medio rural en numerosas zonas, fundamentalmente relacionada con aspectos demográficos (despoblación, envejecimiento, etc.) y económicos (pérdida de poder adquisitivo, etc.) para los cuales este tipo de cultivos puede contribuir a su solución o, por lo menos, a reducir su impacto.

Por último, debe añadirse una tercera razón que surgió, a raíz de la crisis del petróleo de los años 70, de la necesidad de diversificar las fuentes de energía, para reducir la dependencia de los países productores de petróleo.

Requisitos de los cultivos energéticos.

Para que un cultivo cumpla con las expectativas comentadas, es decir, pueda ser una alternativa a los combustibles fósiles y contribuya a paliar la problemática del medio rural, debe cumplir una serie de requisitos y especificaciones.

En este caso, no se busca, como en el de los cultivos alimentarios, la obtención de un producto con unas características de sabor, color, forma, tama-

2. 1 tep = 1 tonelada equivalente de petróleo = 10⁷ kcal ≈ 3 toneladas de cultivo energético

ño, etc., marcadas por el mercado, sino que simplemente se persigue obtener la máxima cantidad de energía por unidad de superficie con el menor coste posible y, por supuesto, minimizando los impactos medioambientales.

Así, los requisitos que debe cumplir un cultivo energético se pueden agrupar en tres categorías:

SER INTERESANTES PARA EL AGRICULTOR (ALTA PRODUCCIÓN CON BAJOS COSTES).

Presentar una alta eficiencia fotosintética, con un elevado crecimiento durante el ciclo vegetativo, obteniendo elevados rendimientos por cada unidad de tiempo en que el vegetal no se encuentra en parada vegetativa.

Tener el ciclo vegetativo lo más largo posible. Dependerá de las características climáticas de la zona de cultivo y de los requisitos térmicos de la especie.

Presentar una alta resistencia, buscándose especies necesitadas de cuidados mínimos, que soporten bien la competencia de las malas hierbas y con una resistencia natural ante el ataque de plagas.

No necesitar para su cultivo maquinaria ni útiles diferentes de los cultivos agrícolas tradicionales ni de las explotaciones forestales.

Ser especies perennes y vivaces, con capacidad rebrotadora. Al cortar el cultivo, la raíz o cepa seguirá viva, desarrollando a partir de ella un nuevo brote. Esto evita realizar las costosas operaciones de plantación o de siembra cada año, y los trabajos previos necesarios a éstas.

SER INTERESANTES PARA LAS INDUSTRIAS ENERGÉTICAS.

Tener una elevada energía por unidad de masa (Poder Calorífico Superior, P.C.S.), que permita su aprovechamiento energético con bajos costes de manipulación y almacenamiento.

Presentar una baja humedad, ya que el contenido de agua de un combustible reduce su P.C.S. o requiere de un coste extra para su secado forzado.

NO SER AGRESIVOS CON EL MEDIO AMBIENTE.

Tener unos requerimientos edáficos y climáticos similares a los cultivos en retirada, de forma que se puedan cultivar en los terrenos antes utilizados por éstos.

No suponer un peligro para el resto de la flora, siendo su propagación, fuera del área de cultivo, nula por su forma de diseminación o fácilmente controlable.

En aquellos casos en los que sea posible cultivar dos especies, se estudiará cuál presenta una mejor eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes, de forma que se aprovechen al máximo los recursos hídricos. Se debe considerar

también la producción de emisiones y residuos durante su cultivo (una especie resistente a la mayoría de plagas requerirá un menor uso de productos fitosanitarios, consumiendo menos productos químicos, menos gasóleo y, por lo tanto, provocando menos emisiones de CO₂ a la atmósfera por unidad de biomasa obtenida).

Tipos de cultivos energéticos.

De entre las numerosas especies vegetales existentes, sólo unas pocas han sido utilizadas como cultivos energéticos, presentando diferentes resultados en función de su localización. Este número de especies utilizadas va creciendo poco a poco, realizándose nuevos ensayos con especies exóticas o con especies autóctonas pero utilizando distintas prácticas de cultivo (por ejemplo las plantaciones de chopo con densidades de 10.000 pies/ha aprovechadas en monte bajo frente a la populicultura tradicional, que aprovecha 300-400 pies/ha como monte alto). No hay que olvidar que mientras que la optimización de los cultivos para usos alimentarios comenzó hace miles de años, la de los energéticos no pasa de unas pocas décadas.

Estos cultivos energéticos se pueden clasificar en función de la utilización de la biomasa obtenida, diferenciando entre los dedicados a la producción de biocarburantes (combustible líquido para motores de combustión interna) y los dedicados a la generación de energía térmica y eléctrica.

A continuación se presenta un listado que no pretende ser exhaustivo de los principales de ellos, debiéndose tener en cuenta que no todos son adecuados para su cultivo en todas las zonas geográficas. En el epígrafe 3 se comentan en mayor profundidad aquellos que, a priori, resultan más interesantes para el caso de Aragón.

PRODUCCIÓN DE BIOCARBURANTES.

Las especies con un alto contenido en aceites (especies oleaginosas) se utilizan para la obtención de biodiesel, mientras que aquellas con un importante porcentaje de azúcares se dedican a la elaboración de bioetanol y sus derivados.

Biodiesel.

Las especies con un mayor potencial para este uso son:

Cacahuete (*Arachis hipogaea*). Familia *Leguminosae*.

Cardo (*Cynara cardunculus*). Familia *Asteraceae*.

Cártamo o alazor. (*Carthamus tinctorius*). Familia *Asteraceae*.

Coco (*Cocos nucifera*). Familia *Palmaceae*.

Colza (*Brassica napus ssp oleifera*). Familia *Cruciferae*.

Girasol (*Helianthus annuus* L.). Familia *Compositae*.
 Lino oleaginoso (*Linum usitatissimum* L.). Familia *Linaceae*.
 Mostaza amarilla (*Sinapis alba*). Familia *Brassicaceae*.
 Nabo francés (*Camelina sativa*). Familia *Brassicaceae*.
 Repollo etíope (*Brassica carinata*). Familia *Brassicaceae*.
 Soja (*Glycine max.*). Familia *Leguminosae*.

Bioetanol.

Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Familia *Poaceae*.
 Cebada (*Hordeum vulgare*). Familia *Gramineae*.
 Maíz (*Zea mays*). Familia *Poaceae*.
 Pataca (*Helianthus tuberosus*). Familia *Solanaceae*.
 Patata (*Solanum tuberosum*). Familia *Solanaceae*.
 Remolacha (*Beta rubra*). Familia *Chenopodiaceae*.
 Sorgo dulce (*Shorghum bicolor* L. Moench). Familia *Solanaceae*.
 Trigo (*Triticum aestivum* L.). Familia *Gramineae*.

producción de energía térmica y eléctrica.

Se denominan especies lignocelulósicas, debido a sus componentes mayoritarios (lignina y celulosa). Se busca en estas especies una alta producción de biomasa, distinguiéndose habitualmente entre especies herbáceas y especies leñosas.

Herbáceas

Cardo (*Cynara cardunculus*). Familia *Asteraceae*.
 Sorgo para fibra (*Sorghum bicolor*). Familia *Solanaceae*.

Leñosas

Mimosa azulada (*Acacia saligna*). Familia *Leguminosae*.
 Chopo (*Populus sp*). Familia *Salicaceae*.
 Sauce (*Salix sp*). Familia *Salicaceae*.
 Eucalipto (*Eucaliptus sp*). Familia *Myrtaceae*.
 Falsa acacia (*Robinia pseudoacacia*). Familia *Leguminosae*.

2. el campo aragonés

En este apartado se proporcionan una serie de datos que, aunque en general son bien conocidos, permiten componer una breve descripción de la situación actual del medio rural aragonés y de la necesidad de su adaptación a una nueva realidad, en la cual los cultivos energéticos y las industrias transformadoras asociadas jugarán, sin duda, un papel importante.

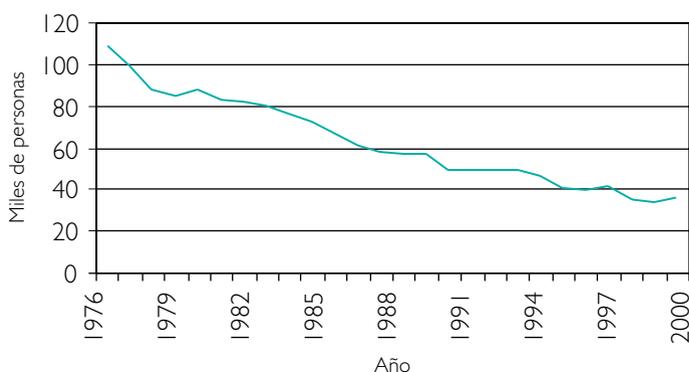
algunos datos del sector agrario aragonés.

El total de la población de derecho en Aragón en el año 2000 era de 1.186.849 habitantes. El peso demográfico de la población aragonesa respecto de la española es muy bajo y tiende a disminuir. Además, la evolución experimentada en el siglo XX ha determinado una distribución poblacional totalmente desequilibrada debido, fundamentalmente, a que las provincias de Huesca y de Teruel se han ido despoblando paulatinamente mientras que en la de Zaragoza ha ido creciendo el número de habitantes y a que, además, una buena parte de la población del medio rural se ha desplazado hacia las zonas urbanas. Este desequilibrio queda patente cuando se tiene en cuenta que en la ciudad de Zaragoza se concentra más de la mitad de la población aragonesa.

Este hecho queda perfectamente reflejado en la progresiva disminución del peso del sector agrícola en la economía aragonesa. En la gráfica 1 se observa la evolución de la población ocupada agraria en los últimos años.

gráfico 1

evolución de la población ocupada
en el sector agrario aragonés.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística

En este mismo sentido, se puede comentar que el número de explotaciones agrarias en Aragón ha ido descendiendo en las últimas décadas: en 1962 se contabilizaban algo más de 159.000 explotaciones, en 1989 el número era de 84.000 y descendió a 70.000 en 1993. Este hecho se ve agravado por otro rasgo estructural de estas explotaciones agrarias muy negativo, el alto grado de envejecimiento de sus responsables y la falta de relevo generacional: menos del 10% de los responsables de explotación tienen una edad inferior a los 35 años y más de la mitad de los mismos superan los 55 años.

Otros datos que reflejan el panorama actual del sector agrario son los de la evolución de la Producción Final Agraria y los de la Renta Agraria en los últimos años: entre 1988 y 2000 la primera descendió un 22'9%, y la segunda, un 11'5 % (ambas en dinero constante equivalente de 1988) [V].

No obstante, el sector agrícola sigue teniendo una gran importancia en el entramado económico aragonés:

- Este sector ocupó en el año 2000 al 7'2% de la población activa mientras que en el conjunto de España dicho porcentaje fue del 6'6%. El análisis provincial del porcentaje de población ocupada en el sector agrario frente al total indica que en ese año en Huesca fue el 15'9%, el 14'9% en Teruel y el 4'0% en Zaragoza, quedando patente que en Huesca y en Teruel se duplica el valor del índice nacional.
- El análisis del valor añadido bruto (pm) por sectores productivos en pesetas constantes (1986) en el período 1980-1995, refleja que a escala nacional el promedio de participación del sector agrícola fue del 5'8% mientras que en Aragón fue del 7'4% [VI].

tipos de cultivos y productividades: secano y regadío.

Las tierras de cultivo ocupan el 38'1% de la superficie total aragonesa. Este porcentaje, superior a la media nacional, 36'7%, sólo es superado por el de Andalucía y los de las dos Castillas. Si además se consideran los prados, los pastizales y el terreno forestal arbolado, se tiene que la superficie agraria susceptible de aprovechamiento agrícola, ganadero o forestal supone el 80% de la superficie total. La Tabla 1 muestra los tipos de cultivos utilizados, la superficie dedicada a cada uno de ellos y las productividades medias de algunos de los de mayor peso específico obtenidas en el año 2000.

El análisis de la productividad del suelo agrícola aragonés muestra que mientras el rendimiento de los regadíos es, en general, similar al del conjunto de España, el de algunas tierras de secano es muy inferior a dicha media debido, fundamentalmente, a las no muy favorables condiciones edafoclimáticas aragonesas. Así por ejemplo, en los años 1997 y 1998 la productividad del trigo de secano aragonés fue, respectivamente, un 16% y un 37% inferior a la media nacional [VII].

Hay que tener en cuenta que aunque en Aragón la superficie de secano triplica la de regadío, su contribución a la Producción Final Agrícola es prácticamente la mitad. Se puede decir que una hectárea de regadío tiene una Producción Final Agrícola equivalente a cinco - seis hectáreas de secano.

No obstante, la importancia del agua en el sector agrícola aragonés no es sólo económica sino también demográfica. El regadío ha contribuido a fijar la población en aquellos municipios que contaban con este recurso para poder regar, reduciendo sus índices de despoblación.

De hecho, el agua se perfila como un recurso con una importancia estratégica creciente: el futuro del subsector agrícola pasa por una mayor conexión entre los productores y las industrias de transformación y distribución; en este sentido, la disponibilidad de agua no sólo implica la posibilidad de aumentar las producciones sino que también supone que éstas tengan la calidad demandada y la regularidad necesaria para cumplir las exigencias industriales. Por otra parte, el regadío permite una mayor versatilidad en la diversificación de los cultivos para poder adaptarse a las demandas cambiantes del consumidor.

La ubicación de las industrias transformadoras (entre las que se deben incluir las plantas transformadoras de los cultivos energéticos para la producción de energía térmica, energía eléctrica, o biocarburantes) está condicionada por la localización de las producciones de materias primas. La mejora y ampliación de regadíos tendría por tanto un efecto indirecto sobre el crecimiento industrial y la fijación de la población en el medio rural.

perspectivas.

Además de la ya comentada disminución progresiva del peso del sector agrario en Aragón, reflejada claramente en la evolución descendente de la población ocupada, de la Producción Final Agraria y de la Renta Agraria, existen una serie de factores que van a condicionar, en un futuro no muy lejano, la evolución del sector.

Así, la futura ampliación de la UE hacia los países del Este y la apuesta de la Organización Mundial de Comercio por la globalización de los mercados va a componer un gran mercado mundial donde el sector agrario aragonés va a tener que competir.

Por otra parte, la entrada en vigor de una nueva Política Agraria Común supone la aparición de un escenario de mayor competencia, provoca cambios de orientación del papel del espacio rural y, por último, ocasiona la disminución de las ayudas. En este último sentido, no hay que perder de vista que en los últimos años la participación de las subvenciones en la Renta Agraria es muy elevada: entre los años 1993 y 2000 ha supuesto entre el 39% y el 47% de dicha renta [V].

cuadro 1

principales tipos de cultivos en Aragón en 2000.
productividades y rendimientos.

	OCUPACIÓN (ha)		RENDIMIENTO (kg/ha)	
	SECANO	REGADIO	SECANO	REGADIO
CEREALES	633.654	193.973		
Trigo blando	75.505	35.413	2.832	4.607
Trigo duro	203.692	13.877	1.007	3.773
Cebada	331.353	50.145	2.786	4.033
Avena	19.093	1.111	2.083	3.657
Centeno	3.158	103	1.761	2.195
Maíz	74	78.430	3.504	9.294
Arroz	0	14.054	-----	5.492
LEGUMINOSAS	29.255	2.341		
Veza grano	18.970	627	335	795
Guisantes secos	2.218	881	846	2.671
Yeros	7.073	127	1.033	2.271
TUBÉRCULOS	157	1.406		
INDUSTRIALES	15.080	22.926		
Girasol	10.902	19.211	757	2.029
Colza	223	2.409	689	1.437
Lino oleaginoso	2.161	863	648	1.430
ORNAMENTALES	0	5		
FORRAJEROS	27.230	94.024		
Alfalfa	4.123	81.582	25.306	69.447
Esparceta	3.197	117		
HORTALIZAS	87	11.345		
FRUTALES	71.936	49.577		
VIÑEDO	43.683	5.748		
OLIVAR	47.629	10.687		
OTROS LEÑOSOS	0	205		
BARBECHOS Y NO OCUPADAS	487.910	44.504		
TOTAL	1.356.621	436.741		

Fuente: Anuario estadístico agrario. Gobierno de Aragón [V].

Ante esta situación, es especialmente importante articular medidas que permitan transmitir al mundo rural la necesidad de adaptarse a las nuevas condiciones, ofreciendo adecuado apoyo y ayuda en un difícil pero necesario proceso de cambio de mentalidad.

El subsector agrícola aragonés debe tender progresivamente a la producción de productos de calidad adaptados a las condiciones edafoclimáticas de cada zona para asegurar una adecuada productividad. Además, sería muy interesante que una gran parte de estos productos sirvieran de materias primas a industrias transformadoras locales, que además de asegurar al agricultor la estabilidad tanto de la demanda como de los precios, aportarían al medio rural en su conjunto, un importante valor añadido que contribuiría a

fijar la población y a mejorar su calidad de vida. Los cultivos energéticos cumplen con todos estos requisitos.

3. potencialidad en aragón

Multitud de especies se están ensayando en todo el mundo para estudiar si satisfacen las condiciones necesarias para que éstas puedan ser utilizadas como materia prima energética. El objetivo de estos ensayos es determinar las variedades que mejor se adaptan a las condiciones climáticas y edáficas de una zona generando, con los mínimos requerimientos posibles, gran cantidad de biomasa. Las especies y variedades evaluadas en un territorio no tienen porqué diferir de las que tradicionalmente en él habían sido cultivadas. En muchos casos, la utilización energética de estos cultivos tradicionales puede ser, por su producción por hectárea, su impacto sobre el suelo, sus requerimientos de agua, por el conocimiento que de ellos tienen los agricultores, etc., la alternativa más interesante.

Se describen a continuación las especies que por sus características y requerimientos presentan un mayor potencial de implantación en el territorio aragonés.

cardo (*cynara cardunculus* L.).

El cardo es una especie herbácea perenne del mismo género que la alcahofa, el cártamo o el girasol que, aunque es originaria de la región mediterránea, se adapta bien a zonas de clima continental. Durante su ciclo natural brota en otoño, pasa el invierno en un estado de roseta (esto le permite resistir mejor las heladas) y en primavera desarrolla un tallo floral ramificado que se seca en verano, permaneciendo vivas las raíces. Al comenzar un nuevo otoño los brotes de la parte superior de las raíces generan una nueva roseta, continuándose de este modo el ciclo durante varios años sin que sea necesario efectuar nuevas siembras.

Esta especie se adapta muy bien en territorios de baja pluviometría debido a que posee un sistema radicular profundo que le permite extraer agua y nutrientes de zonas alejadas de la superficie, aprovechando el agua de lluvia acumulada en el subsuelo durante el otoño, el invierno y la primavera. Para que su desarrollo sea el esperado es necesario que durante los meses de otoño, invierno y primavera las precipitaciones alcancen, al menos, 400 mm ya que si son inferiores, la producción de biomasa puede decrecer sustancialmente. En general, requiere suelos ligeros, profundos y limosos con capacidad para retener el agua primaveral e inveral en los tres primeros metros [VIII].

Aunque es un cultivo sensible a las heladas, sobre todo durante el estado de germinación, en el estado de roseta soporta temperaturas inferiores a cero grados sin que la producción final de biomasa se vea afectada.

No es una especie que requiera una gestión de cultivo compleja o maquinaria muy específica por lo que si se le efectúan unos cuidados mínimos y dispone de agua durante su período de crecimiento activo (primavera), se pueden obtener grandes cantidades de biomasa por hectárea. Con unas precipitaciones medias de 450 mm distribuidas de acuerdo con el modelo climático Mediterráneo, la producción media de biomasa cosechable se aproxima a las 20 toneladas de materia seca por hectárea (t.m.s./ha), con la ventaja añadida de que dicha biomasa presenta un contenido de humedad bajo (10-15 %) debido a que su cosechado se efectúa en verano, cuando la parte aérea de la planta se seca y sólo se mantienen frescas las raíces con abundantes sustancias de reserva [VIII].

La biomasa aérea obtenida presenta un poder calorífico superior próximo a los 16.000 kJ/kg en base seca lo que la convierte en una materia prima muy interesante para la producción de calor o de electricidad. Por otra parte, tanto el contenido en aceite de las semillas (25%) que pueden suponer el 13% total de la cosecha obtenida, como el contenido en fibra del tallo han motivado que se estén realizando estudios que permitan determinar la viabilidad del uso industrial de este cultivo en la producción de papel o de aceite .

Cinco Villas y la Hoya de Huesca son las comarcas que ofrecen mayor potencial para el desarrollo de este cultivo, no obstante, a priori no se puede descartar que no se adaptara a otras comarcas aragonesas. Esta especie ya se está cultivando en varias zonas aragonesas con resultados que permiten albergar esperanzas de su futura implantación definitiva [IX].

Los ensayos realizados con este cultivo en Aragón han dado resultados muy variados, habiéndose encontrado parcelas en las que éstos han superado lo esperado (de acuerdo a la bibliografía) y otras en las que, por diversos problemas (plagas y sequía), la densidad se vio reducida y con ella la producción. Así, ha variado de las 20'5 t.m.s./ha con una densidad de 10.000 plantas por hectárea en Montesa (Huesca) a las 1'8 t.m.s./ha (8.000 plantas/ha) en Zuera (Zaragoza) [X].

cultivos energéticos leñosos en turno de rotación corto.

Una de las perspectivas más prometedoras dentro de este tipo de cultivos es la que se conoce con el nombre de *explotaciones a rotación corta*, que consiste en el cultivo de especies leñosas de crecimiento rápido, con capacidad de rebrote y alta productividad de biomasa cuando se cultivan con densidades de plantación muy superiores a las tradicionales para estos cultivos (habitualmente 2.500-10.000 pies por hectárea aunque incluso se plantean densidades superiores) a los que se les acorta de forma sustancial el turno de corta tradicional (pasa a rondar los 2-3 años).

El chopo (*Populus sp.*) es la especie que en la península ibérica y en Aragón en particular, presenta el mayor potencial de desarrollo o utilización mediante esta técnica de cultivo. Se debe tener presente que la cuenca del Ebro

es la segunda zona de España en cuanto superficie destinada a la populicultura intensiva, únicamente superada por la cuenca del Duero.

El chopo crece satisfactoriamente en un rango amplio de suelos y pH (entre 6'0 y 8'0 aunque el pH óptimo es 6'5) pero su mejor desarrollo tiene lugar en suelos limo-arenosos finos con materia orgánica y disponibilidad de agua, de hecho, es una especie que depende más que otras del agua por lo que se deben evitar para su cultivo suelos extremadamente secos. Los rangos de temperatura en los que el chopo es capaz de crecer varían según la especie entre 5° C (temperatura mínima de crecimiento) y 40° C (temperatura máxima de crecimiento), siendo -30° C la temperatura a partir de la cual muere el árbol [VIII].

La plantación, siempre superficial con riego, se efectúa con estaquillas o esquejes dispuestas de la forma más vertical posible con menos de 3 cm de los mismos por encima del suelo. Las plagas y enfermedades en los primeros años pueden reducir el crecimiento hasta el 50% y la producción de biomasa hasta el 20% por lo que es recomendable un buen tratamiento fitocida antes de la plantación (las elevadas densidades de plantación utilizadas no van a permitir los labores después del primer año). De hecho, para evitar el crecimiento de vegetación invasora es conveniente no fertilizar hasta que las plantas no hayan desarrollado un sistema radicular suficiente para absorberlo [IX].

Una vez desarrollado el cultivo los riegos son similares a los de una plantación en turno de corta normal, quizá menos espaciados en el tiempo en los meses de verano, y los abonados ligeramente superiores, por término medio y aunque depende de la fertilidad del suelo 60-80 kg N, 10-20 kg P y 35-70 kg K.

El turno de corta óptimo varía con la especie y clon utilizados aunque, en general, se encuentra entre los tres y los cuatro años, generando por término medio entre 12 y 15 t.m.s por hectárea y año, estimándose que se podría repetir el ciclo hasta en ocho ocasiones sin necesidad de volver a implantar el material vegetativo [XI].

El tipo de biomasa obtenido (materia leñosa que puede presentar hasta un 50% de humedad en el momento de obtención y materia foliar) es por sus características y su poder calorífico superior (≈ 16.000 kJ/kg en base seca) un combustible idóneo para producir, como en el caso anterior, energía térmica o energía eléctrica.

Las comarcas que, tanto por la tradición existente en el cultivo del chopo en monte alto como por sus características edafoclimáticas, presentan más potencial para el desarrollo de este cultivo son Bajo Cinca, La Litera, Campo de Daroca, Hoya de Huesca y Zaragoza. Además, también presentan enorme interés las superficies próximas a las márgenes de algunos ríos aragoneses o las colas de los pantanos [IX].

el girasol (*Helianthus annuus*) como cultivo energético.

El girasol fue introducido en España y en el resto de Europa desde América en el siglo XVI por su valor ornamental, no siendo hasta el siglo XIX cuando comenzó la explotación industrial de su aceite, destinada a la alimentación (desde 1964 se cultiva en España para obtener aceite con fines alimentarios). Es uno de los cultivos destinados a la extracción de aceite para consumo humano más cultivados en el mundo, de hecho, la aparición de híbridos que facilitan su recolección y el creciente interés por el uso de ácidos poliinsaturados (como los del girasol) para el consumo humano han hecho que en los últimos años, la superficie destinada al girasol en el mundo haya crecido constantemente.

No obstante, a partir de la campaña 93/94 se introdujo, con la llegada de la reforma de la P.A.C., un nuevo barbecho denominado *retirada de tierras* en el que no se podía realizar cultivo alguno si se querían percibir las ayudas salvo que el producto obtenido en dichas tierras, no fuera destinado al consumo humano o animal. Este hecho unido al desarrollo que desde principios de los 80 se le ha dado a la utilización del aceite de girasol como sustituto del diesel tradicional (más aún al éster obtenido de la transesterificación del mismo) ha provocado una nueva cultura en el cultivo del girasol: su uso para fines energéticos a través de la producción de *biodiesel*.

En lo que hace referencia a sus requerimientos edafoclimáticos, es un cultivo poco exigente en el tipo de suelo, pero es esencial que éste tenga un buen drenaje y que la capa freática se encuentre a poca profundidad; es muy poco tolerante a la salinidad, el contenido en aceite disminuye cuando ésta aumenta; la temperatura es un factor muy importante en su desarrollo, adaptándose bien a un amplio margen (13° C – 30° C) y presentando problemas de producción fuera de él; y, por último, durante la época de crecimiento activo y, sobre todo, en el proceso de formación y llenado de semillas, consume importantes cantidades de agua [VIII].

En cuanto a las particularidades del cultivo, la época de siembra varía (invierno o primavera) en función de las características climáticas de cada región; la densidad de plantación depende de las precipitaciones, de la fertilidad, de los híbridos empleados y de la distancia de los surcos siendo, en general, de 45.000-50.000 plantas/ha en secano (precipitaciones anuales próximas a los 500 mm) y 80.000 y 100.000 plantas/ha en regadío; aprovecha el agua de forma mucho más eficiente en condiciones de escasez, extrayendo agua de zonas profundas gracias a su sistema radicular, no obstante, aunque es un cultivo de secano consume en algunos momentos importantes cantidades de agua, de hecho, responde muy bien al riego, que incrementa la producción final; por último, es un cultivo que por su sistema radicular, no requiere grandes cantidades de abono [VIII].

Teniendo en cuenta los requerimientos edafoclimáticos de este cultivo y los rendimientos que presenta su producción en territorio aragonés, se puede

afirmar que las comarcas que presentan mejores posibilidades para que una parte de su superficie se destine al cultivo del girasol para la producción de biodiesel son Cinco Villas, La Litera, y Hoya de Huesca [IX].

La colza (*Brassica napus*) como cultivo energético.

La colza, como el girasol, es un cultivo tradicionalmente destinado a la producción de aceite con fines alimentarios, fundamentalmente en países del centro y norte de Europa (Francia, Suecia, Alemania, Chequia, Eslovaquia, e Inglaterra). En España, esta oleaginosa es, después del girasol, la segunda en cuanto a superficie y producción.

La proporción importante de aceite que presenta la semilla de colza (39%) y su implantación en los países europeos mencionados originó que sea en ellos el cultivo más utilizado y desarrollado para la producción de biodiesel [VIII].

En España esta especie se siembra en otoño aunque también puede efectuarse en primavera. Aunque la gran diversidad de variedades hace posible su cultivo en la totalidad de la península Ibérica, en general, no soporta temperaturas inferiores a 2 ó 3 grados centígrados bajo cero desde que germina hasta que alcanza el estado de roseta ni tampoco inferiores a 15° C bajo cero una vez alcanzado dicho estado; requiere de al menos 400 mm de lluvia (si están bien distribuidos) resistiendo la sequía invernal y sufriendo con los encharcamientos; el intervalo deseable de pH es 5.5-7 aunque es capaz de soportar otros valores; prefiere suelos profundos y con buen drenaje; y, por último, en la época de floración es conveniente que la temperatura no sea alta para que no se acorte el ciclo y se produzca mejor la granazón [VIII].

Es una especie que se siembra en seco, habitualmente en terrenos poco fértiles, produciendo en esos casos como mínimo 1.500 kg/ha de semilla para lo que requiere de 180-250 kg/ha N; 80-100 kg/ha P y 180-220 kg/ha K por lo que es posible (e incluso recomendable) su fertilización con residuos ganaderos.

Teniendo en cuenta los requerimientos edafoclimáticos de este cultivo y los rendimientos que presenta su producción en territorio aragonés, se puede afirmar que las comarcas que presentan mejores posibilidades para que una parte de su superficie se destine al cultivo de la colza para la producción de biodiesel son Monegros, Campo de Borja, Cinco Villas y La Litera [IX].

cultivos tradicionales no específicamente energéticos.

El desarrollo de la agroenergética ha estado fuertemente ligado a las diferentes crisis energéticas mundiales y a la acumulación de excedentes agrícolas en los países habitualmente denominados *desarrollados*. Las primeras impulsaron la

búsqueda de alternativas a las materias primas energéticas tradicionales y la segunda, como ya se ha dicho, contribuyó a establecer una serie de subvenciones destinadas a retirar una proporción determinada de superficie del cultivo, en la que sólo se puede mantener la actividad agrícola si el producto de la misma no se destina a fines alimentarios.

La rentabilidad de un cultivo tradicional en el mercado alimentario es superior a la que se obtiene con él en mercado energético (aunque a este mercado se destine tanto la cosecha de grano como la de residuo) por lo que, tanto para mantener la renta que un agricultor recibe por unidad de superficie, como para que el precio final del producto pueda competir con el de los combustibles tradicionales, parecía necesario desarrollar cultivos específicos que teniendo un balance energético positivo generaran una gran producción de biomasa por hectárea.

La evolución de algunos de los precios de los mercados energético y alimentario, el desarrollo tecnológico y la dificultad que supone introducir especies y técnicas de cultivo, en general, ajenas a los agricultores, han motivado la aparición de un nuevo mercado para las especies tradicionalmente destinadas a la producción de alimento, su utilización como cultivo para producir materias primas energéticas.

De este modo, se plantea la utilización de cultivos como el maíz, el trigo la cebada, la avena, etc., incluyendo el grano y no sólo el residuo generado en su cosechado, para la obtención de biocarburantes o de materia prima para la generación de calor y/o electricidad. Esta alternativa, una práctica generalizada en algunos países de la Unión Europea como Dinamarca, supone que los agricultores sigan percibiendo las subvenciones por la retirada, cultivando especies que no les son desconocidas.

Evidentemente, la utilización energética de estos cultivos no requiere de ensayos para determinar su manejo óptimo o para conocer cuál va a ser su producción bajo unas condiciones climáticas o edáficas determinadas. El único requisito necesario es la existencia de una instalación que demande las producciones obtenidas para ese fin.

otros cultivos lignocelulósicos.

Se incluyen aquí otras especies que podrían ser interesantes tanto por su capacidad de producir biomasa lignocelulósica destinada a la producción de energía térmica y/o eléctrica como la de adaptarse a las condiciones edafoclimáticas aragonesas.

- El *sorgo para fibra* (*Sorghum bicolor* L. Moench) es adecuado como combustible sólido por estar compuesto principalmente por fibra celulósica y por tener un bajo contenido en azúcares. A pesar de ser una variedad con resistencia a la sequía por su elevada eficiencia en el uso del agua, no es posible su cultivo en zonas con precipitaciones inferior-

res a 400 ó 600 mm de agua durante su período vegetativo. La germinación tiene lugar entre los 8 y los 10° C y el crecimiento óptimo se obtiene cuando, con las precipitaciones indicadas, la temperatura media supera los 27° C. Se adapta a diferentes tipos de suelos, aunque las mayores producciones se obtienen con los franco-arenosos y los franco-arcillosos pudiendo desarrollarse con rangos de pH entre 5'0 y 8'0 [VIII].

Los rendimientos son variables en función de las zonas de cultivo, de hecho, las producciones obtenidas en ensayos realizados en la UE varían desde las 12 a las 25 toneladas de peso seco por hectárea. En España se han obtenido en algunos ensayos producciones de 20 toneladas de materia seca por hectárea [IX].

- Cultivo de la Acacia en rotación corta. Es una especie arbórea de rápido crecimiento que ha permitido obtener producciones próximas a las 15 t.m.s/ha. Presenta como ventaja que se adapta perfectamente a su cultivo en zonas áridas y semiáridas, es resistente a la sequía y permite proteger y estabilizar suelos degradados.

otros cultivos oleaginosos o con contenidos en azúcares.

Se incluyen aquí otras especies que podrían ser interesantes por su capacidad de producir biomasa destinada a la fabricación de biodiesel o de etanol.

- El lino oleaginoso (*Linum usitatissimum* L.) es una especie anual de invierno perteneciente a la familia de las Lináceas. La semilla del lino posee entre un 30 y un 48% de aceite rico en ácidos poliinsaturados y entre un 20 a un 30% de proteína cruda. Aunque prefiere climas templados y cálidos se adapta a las condiciones climáticas aragonesas. Al tener la semilla un tamaño muy pequeño no le gustan los terrenos fuertes que crean costura cuando llueve y no dejan germinar a la semilla. Tampoco son adecuados los suelos excesivamente sueltos y permeables pues las raíces del lino son pequeñas y no alcanzan bien las capas profundas. Las necesidades de agua totales se pueden elevar a 400-450 mm durante todo el ciclo [VIII].
- El cultivo de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.), destinado fundamentalmente a la producción de azúcar decayó hace unos años por la competencia con la obtenida de la caña de azúcar pero, actualmente, se está reactivando dicho mercado y se cultiva tres veces más remolacha azucarera que hace cinco años. Además de para la producción de azúcar se podría destinar a la fabricación de etanol puesto que con 10 kg de remolacha se obtiene un litro de etanol lo que supone que, por término medio, se producirían (a un coste competitivo) 6.000 litros de etanol por hectárea. El cultivo de remolacha tuvo en Aragón una importante participación,

que sólo habría que recuperar si se plantease su utilización como materia prima energética [IX].

- La pataca (*Helianthus tuberosus* L.) es una especie introducida en Europa desde América que se destinó a la producción de tubérculos para alimento humano y animal aunque para el primero de ellos, fue desplazado por la patata. En la actualidad se considera como un posible cultivo alternativo para la obtención de fructosa y para la obtención de etanol. Frente a cultivos como la remolacha azucarera presenta como ventajas su mejor rendimiento, su mayor rusticidad y su mejor balance económico en condiciones desfavorables. La producción de etanol se estima del orden de un litro por cada 12 kg de tubérculos lo que implicaría la obtención de 5.000-6.000 litros por hectárea. Con este cultivo se realizaron ensayos en algunas parcelas situadas en el territorio aragonés con resultados satisfactorios [IX].

4. usos tecnológicos

Además de los beneficios que los cultivos energéticos pueden presentar para el subsector agrícola, no hay que olvidar que son la materia prima (biomasa) para una serie de industrias energéticas que no pueden localizarse a mucha distancia del recurso, lo que puede suponer para el medio rural en su conjunto, un valor añadido muy necesario.

Los diferentes cultivos energéticos pueden ser utilizados por estas industrias para distintos fines:

- Para generar energía térmica en sustitución de combustibles fósiles, generalmente en industrias ya existentes o en instalaciones para calefacción de distrito.
- Para generar energía eléctrica en nuevas centrales térmicas de pequeña o mediana potencia (2-40 MW) o para sustituir parcialmente al carbón en centrales térmicas ya existentes (co-combustión).
- Para producir biocarburantes.

A continuación se van a comentar muy brevemente cada una de estas aplicaciones.

generación de energía térmica.

Con los cultivos energéticos se puede generar energía térmica para aprovecharla en calderas (calentamiento de agua o aceite térmico, o producción de vapor), en aerotermos (calentamiento de aire), en secaderos o en hornos. El sistema más extendido para este tipo de aprovechamiento está basado en la combustión directa de la biomasa.

cuadro 2

**NECESIDADES DE RIEGO POR CULTIVO Y CICLO AGRONÓMICO
[MEDIA DE ARAGÓN A PARTIR DE DATOS COMARCIALES]**

	Trigo	Cebada	Aroz	Avena	Maíz	Sorgo	Patata	Girasol	Alfalfa	Veza forrajera	Col forrajera	Melón	Tomate	Pimiento Verde	Coiflor	Cebolla	Ajo	Judía Verde	Guisante Verde	Haba Verde	Cardo	
Cultivos herbáceos:																						
Necesidades																						
Promedio																						
Riego (m ³ /ha) ¹	2.663	2.206	11.010	3.010	6.918	6.158	5.067	5.864	7.501	1.283	1.773	5.487	6.344	5.626	2.327	5.810	1.915	3.928	1.828	2.000	2.000 ²	
Producción																						
regadío (kg/ha)	3.833	4.229	5.956	3.012	9.346	4.587	25.547	2.152	68.978	8.749	24.606	24.776	55.692	12.243	20.050	37.750	4.113	8.338	4.825	7.390	17.000 ³	
Agua de riego																						
necesitada por																						
producción																						
(l de agua de																						
riego/kg de																						
producto obtenido)	695	522	1.849	999	740	1.343	198	2.725	109	147	72	221	114	460	116	154	466	471	379	271	118	

Cultivos leñosos:

	Manzano	Peral	Albaricquero	Cerezo	Melocotonero	Cinelo	Almendra	Olivo	Vitíneo	Chopo (rotación corta) ⁴
Necesidades Promedio Riego (m ³ /ha)	8.470	7.866	8.238	5.468	8.271	8.238	7.060	3.850	5.756	2.500-3.000 ⁵
Producción regadío (kg/ha)	20.958	16.397	9.141	6.019	16.470	6.656	2.796	1.740	5.764	15.000 ⁶
Agua de riego necesitada por										
producción (l de agua de riego/kg										
de producto obtenido)	404	480	901	908	502	1.238	2.525	2.213	999	167-200

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Martínez et al. (1998) y Gobierno de Aragón (2000).

Referencias no incluidas en el artículo:

- Martínez, F., Faci, J.M. y Berceo, A. (1998). "Eviapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón". *Institución Fernando el Católico, Zaragoza.*
- Gobierno de Aragón (2000). "El código de buenas prácticas agrarias (II)". *Departamento de agricultura, Dirección General de Tecnología Agraria, Informaciones Técnicas, nº 93.*
- González, F. y San Miguel, A. (1987). "Selvicultura de chopeas. Chopeas a turno normal (diez a veinte años. Tallares de chopo a rotación muy corta (dos a cinco años)". *Montes. Revista de ámbito forestal, nº 15.*

1. Eviotranspiración - Precipitación

2. Suponiendo cuatro riegos anuales para garantizar una producción elevada. En el caso de que la precipitación en el periodo de crecimiento vegetativo fuera superior a 450mm este riego podría no ser necesario.

3. Materia seca total aprovechable como combustible.

4. Datos no específicos de Aragón.

5. González y San Miguel (1987).

6. Materia seca total aprovechable como combustible (AIDA, 1996). **NOTA: se corresponde con la referencia XI del artículo.**

Existen diferentes tecnologías para llevar a cabo la combustión de la biomasa: caldera de parrilla, cámara torsional, combustor en lecho fluido, etc. En función de las características del recurso y de la demanda (energía a baja o a alta temperatura y cantidad de la misma a suministrar) es más idóneo uno que otros, pero en todos los casos, los avances tecnológicos conseguidos, tanto en los sistemas de alimentación de la biomasa como en los equipos de combustión, hacen que, en estos momentos estos sistemas que utilizan recursos renovables sean tan cómodos, seguros y eficientes como los basados en combustibles fósiles. En este último sentido, se debe destacar que con los equipos que en la actualidad hay en el mercado se pueden conseguir rendimientos de combustión que pueden alcanzar en instalaciones de elevada potencia, hasta el 95%.

generación de energía eléctrica.

Sin ninguna duda, esta es una de las aplicaciones con mayor futuro para el aprovechamiento de los cultivos energéticos. Hay que distinguir tres posibles tecnologías:

- Central térmica exclusiva de biomasa.
- Co-combustión.
- Generación combinada de energía térmica y eléctrica.

CENTRAL TÉRMICA EXCLUSIVA DE BIOMASA

Existen básicamente dos tipos de centrales de producción de energía eléctrica con cultivos energéticos, las basadas en la combustión directa de estos recursos (emplean ciclo de vapor) y las basadas en una gasificación previa de los mismos (pueden utilizar turbina de gas o motor alternativo de combustión interna).

- *Ciclo de vapor*: está basado en la combustión de biomasa en una caldera de vapor similar a las comentadas en el apartado de generación de energía térmica, en la cual se produce vapor a elevada presión que es expandido en una turbina de vapor donde se produce el trabajo mecánico. Este trabajo es posteriormente transformado en energía eléctrica mediante un generador eléctrico. Una vez a baja presión, el vapor se condensa y, mediante una bomba, vuelve a introducirse en la caldera.
- *Turbina de gas o motor alternativo de combustión interna*: en ambos casos se produce un trabajo mecánico utilizando como combustible gas de síntesis procedente de la gasificación de la biomasa. La gasificación es un proceso químico en el cual, como su nombre indica, se produce gas combustible a partir de un recurso sólido cuando en ausencia o defecto de oxígeno se somete el mismo a elevadas temperaturas. Si los gases de escape de los equipos se aprovechan posteriormente en un ciclo de vapor se habla de un "ciclo combinado".

Aunque el segundo de los métodos tiene un futuro prometedor debido a su mayor rendimiento, los ciclos de vapor son los sistemas que, hoy por hoy, tienen una mayor aceptación dado que al tratarse de una tecnología similar a la

empleada mayoritariamente para la producción de electricidad a partir de combustibles fósiles, está muy probada, lo que la convierte en más fiable.

CO-COMBUSTIÓN:

Una alternativa muy interesante para zonas que cuenten con centrales térmicas de carbón, como es el caso de Aragón (C.T. Teruel, C.T. de Escucha y C.T. de Escatrón), es la tecnología de la co-combustión. Consiste básicamente en la sustitución parcial (0-20%) de carbón por biomasa.

Esta tecnología tiene varias ventajas con respecto a las centrales exclusivas de biomasa:

- Requieren menor inversión puesto que se parte de una instalación ya existente en la que sólo es necesario efectuar algunas reformas.
- Presentan mayor rendimiento debido, principalmente, a una cuestión de escala: mientras que las C.T. de biomasa rara vez sobrepasan el 25% de rendimiento, los de una gran C.T. de carbón y, por lo tanto, las de co-combustión, pueden estar entre el 32% y el 35%.
- Posibilitan la utilización de una cantidad variable de biomasa, según la disponibilidad de la misma en un momento dado. Esta ventaja es especialmente importante en el caso de los cultivos energéticos dada su estacionalidad y sus posibles variaciones de producción entre distintas campañas.

Aunque la co-combustión no es todavía una tecnología demasiado conocida en España, en el norte de Europa se están llevando a cabo numerosas experiencias con resultados muy esperanzadores.

COGENERACIÓN:

La cogeneración consiste en la producción conjunta de energía térmica y eléctrica. Esta tecnología presenta como gran ventaja la consecución de rendimientos superiores a los sistemas de producción de energía térmica o eléctrica por separado. No obstante, dada la dificultad de transportar la energía térmica, la instalación de cogeneración necesita de un punto de consumo de la misma cercano (industria, calefacción de distrito, etc.).

El principio de funcionamiento de esta tecnología se basa en el aprovechamiento de los calores residuales de los sistemas de producción de electricidad comentados anteriormente (ciclo de vapor, turbina de gas o motor de combustión interna alternativo).

Producción de biocarburantes

Los biocarburantes son combustibles líquidos obtenidos a partir de biomasa, que pueden ser empleados en los motores alternativos de automóviles, camiones, autobuses, etc., sustituyendo total o parcialmente a los combustibles fósiles.

Se puede distinguir entre la producción de biocarburantes destinados a su utilización en vehículos con motor de encendido por compresión (diesel) y los des-

tinados a su empleo en vehículos con motor de encendido provocado (gasolina). Los primeros se obtienen de cultivos o especies vegetales oleaginosas (girasol, colza, cacahuete, etc.) y sustituyen al diesel tradicional y los segundos de cultivos o especies vegetales ricas en azúcares (remolacha, patata, caña de azúcar, maíz, trigo, etc.) y sustituyen a las gasolinas o a los aditivos de las gasolinas sin plomo.

Los aceites obtenidos de las especies oleaginosas se pueden emplear como aditivo en un motor diesel convencional o se pueden utilizar como único combustible en motores especiales. No obstante, debido a los inconvenientes técnicos que estas opciones plantean, habitualmente se transforman químicamente mediante una reacción de esterificación del aceite con un alcohol (generalmente metanol) en un éster metílico que se denomina biodiesel. Este biodiesel se puede emplear directamente o como aditivo del diesel tradicional en los motores convencionales.

Por otra parte, los alcoholes obtenidos de la fermentación de especies ricas en azúcares se pueden utilizar como aditivo en un motor de gasolina convencional o se pueden emplear como único combustible en motores especiales, pero como en el caso de biodiesel, lo más usual es que se usen una vez transformados químicamente mediante su combinación con un reactivo orgánico (isobuteno) en lo que se denomina habitualmente como ETBE (etil-ter-butil éter). Este compuesto se puede utilizar como aditivo de las gasolinas sin plomo sustituyendo al MTBE (metil-ter-butil éter) que normalmente se obtiene de un combustible fósil.

Desde el punto de vista industrial los procesos de obtención de biocarburantes se hallan suficientemente desarrollados, no existiendo a nivel técnico ningún tipo de barrera para su producción.

Aspectos económicos de los usos tecnológicos de los cultivos energéticos.

El análisis desde un punto de vista puramente económico de la situación actual de las diferentes aplicaciones de los cultivos energéticos presenta resultados muy diferentes. Posiblemente, el resultado más favorable lo presente la generación de energía térmica puesto que con los actuales precios de mercado de los combustibles fósiles, los sistemas basados en la combustión de biomasa en general, y de los cultivos energéticos en particular, son muy competitivos.

En cuanto a la generación de energía eléctrica, las centrales térmicas de biomasa exclusiva y las plantas de cogeneración pueden acogerse al régimen especial recogido en el RD 2818/1998 de 23 de diciembre [XII] en el que se establece un sistema de incentivos económicos en forma de primas a la electricidad producida. No obstante, esta prima no es suficiente para que se produzca el despegue definitivo de estas instalaciones que, generalmente, se encuentran por debajo del umbral de rentabilidad. Hay que destacar que los

comentados incentivos económicos no son hoy por hoy aplicables a la energía eléctrica producida con biomasa en una central de co-combustión. En el caso de que sí lo fueran, estas instalaciones serían, en general, rentables.

Aunque ya se están introduciendo en el mercado, la principal limitación existente para la elaboración de biocarburantes es de origen económico, ya que presentan un coste de obtención superior al de los derivados del petróleo. No obstante, la producción de biocarburantes puede ser, con la aplicación de exenciones fiscales especiales, competitiva frente a la de los combustibles fósiles a los que sustituyen. También puede resultar económicamente interesante su fabricación para autoconsumo en empresas o cooperativas agrarias con elevada cantidades de maquinaria agrícola o en empresas o instituciones con flotas de transporte cautivas (transportes urbanos, recogida de basuras, taxis, etc.).

Puesto que en determinados sectores de la población puede entenderse que en una economía de libre mercado es incompatible la existencia de primas o de exenciones fiscales, se debe tener en cuenta que dichas acciones serían equivalentes a la existencia de una tasa (ecotasa) que se encargara de internalizar los costes medioambientales que producen los combustibles fósiles, dejando así que el mercado, ahora ya con todos los costes contabilizados, decidiera el tipo de energía que más le interesa utilizar.

previsiones de mercado.

El Plan de Fomento de las Energías Renovables [III] prevé para Aragón en el horizonte del año 2010 la siguiente contribución energética a partir de cultivos energéticos:

- Generación de energía térmica y eléctrica: 534.355 tep/año. Esta cantidad puede suponer, de forma aproximada, 1.500.000 toneladas de cultivos energéticos. De ellos, en torno al 15% sería destinado a la producción de energía térmica y el 85% restante a la generación de energía eléctrica.
- Producción de biocarburantes: 50.000 tep/año.

Aunque la tecnología de la co-combustión no se menciona en el citado Plan de Fomento de las Energías Renovables, el Libro Blanco de las Energías Renovables de la Comisión Europea [II] prevé en el conjunto de la Unión Europea para el año 2010 la utilización de unos 6 Mtep/año de biomasa para este fin, o lo que es lo mismo, una sustitución del 3% en energía de carbón por biomasa en todas las centrales térmicas. En Aragón esto podría suponer el equivalente a la energía eléctrica producida por una planta de unos 40 MW eléctricos, parte de la cual o toda ella podría ser generada a partir de cultivos energéticos.

5. costes y barreras

La incorporación de los cultivos energéticos al panorama agrícola actual es una de las apuestas de futuro de las instituciones políticas europeas y nacionales. Para que las acciones encaminadas a la creación de un nuevo mercado agroenergético fructifiquen y hagan de ellos una alternativa de presente se deben superar ciertos aspectos que frenan su implantación. Estas "barreras", fundamentalmente de carácter económico y sociocultural, retrasan la incorporación de forma estable de los cultivos energéticos al mercado energético a pesar de sus ventajas socioeconómicas y medioambientales.

costes

Los recursos obtenidos en la cosecha de un cultivo energético deben competir en precio con los combustibles tradicionalmente utilizados por las empresas energéticas (petróleo, carbón, gas natural y los productos derivados de todos ellos) y, por otra parte, deben ser una alternativa atractiva desde el punto de vista económico para el agricultor, si no del mismo orden que algunos de los productos del mercado alimentario, sí al menos desde el punto de vista de la propia rentabilidad del cultivo.

Para que la biomasa obtenida con un cultivo energético compita en el mercado eléctrico su precio a pie de planta no puede superar los 0'6-0'9 ¢€ la termia de combustible. Este valor se obtiene de restar al precio de venta de la electricidad generada con biomasa (primas incluidas), los costes de amortización de las centrales y los costes de operación y mantenimiento de las mismas. Si se tiene en cuenta que estos recursos contienen, por término medio, cuatro termias por kilogramo, el precio de mercado de los mismos no puede rebasar los 2'4-3'6 ¢€/kg (el coste de transporte del recurso a pie de planta, que para un radio de 50 km podría suponer 0'4-1 ¢€/kg, está incluido en este valor). En estos momentos, sólo una pocas especies han demostrado que, incluyendo las subvenciones agrarias a la retirada de tierras, son capaces de generar recursos que puedan competir a ese precio, pero todavía necesitan tanto optimizar su producción como demostrar que las productividades obtenidas en las parcelas de ensayo son alcanzables en las superficies de cultivo durante todo el ciclo económico del producto.

En el caso de los cultivos destinados a la obtención de biocarburantes la situación es similar puesto que, actualmente, los productos que sustituyen al diesel y la gasolina aunque se encuentran en el umbral de la rentabilidad, todavía requieren de exoneración fiscal para que sean capaces de competir en el mercado. La evolución del precio del petróleo en el mercado internacional y la continuidad en el desarrollo tecnológico y productivo efectuado en los últimos años puede modificar este hecho.

Diferente es, sin embargo, el caso de la utilización de los recursos de biomasa de un cultivo para generar energía térmica puesto que su coste no es la principal barrera que dificulta la existencia de un mercado estable. De hecho, en

la actualidad no sólo son competitivos en precio con otros combustibles sino que, en algunos casos, son incluso más rentables.

otras barreras

No sólo las cuestiones económicas causan que la penetración en el mercado de la biomasa en general, y de los cultivos energéticos en particular, sea lenta y compleja. En Aragón, como en gran parte del territorio nacional, se ha ido perdiendo progresivamente la "cultura de la biomasa", lo que ha causado la aparición de dos importantes barreras relacionadas con los agentes que intervienen en su cadena de aprovechamiento (productores/propietarios, comercializadores y usuarios finales) y que impiden que la biomasa alcance una mayor difusión:

- El posible usuario final de la energía generada mediante el empleo de la biomasa o los productores/propietarios de estos recursos desconocen las nuevas posibilidades tecnológicas y las ventajas del aprovechamiento energético de los mismos. De hecho, cuando se compara con los combustibles fósiles todavía es común asociar el uso energético de la biomasa con incomodidad y atraso.
- Han desaparecido, o nunca han existido, los canales de distribución de los recursos. Esos canales permitirían garantizar la estabilidad del suministro en cuanto a cantidad, calidad y precio, lo que posibilitaría evitar la desconfianza entre los potenciales usuarios finales.

Se tiene así un círculo vicioso en el que no existe consumo por falta de comercializadores ni comercio de recursos por falta de consumidores.

¿cómo superar estas barreras?

La forma de vencer las barreras económicas pasa, en la actualidad, por el establecimiento de una adecuada política de subvenciones, de incentivos fiscales y de primas a la producción y utilización de los cultivos energéticos, por lo menos hasta que estas actividades puedan ser competitivas por sí mismas. No hay que olvidar que todas estas ayudas se compensan sobradamente con las ya comentadas ventajas medioambientales y socioeconómicas derivadas del uso de los mismos.

El propósito de estas ayudas debe ser el de garantizar una presencia constante y creciente de estos combustibles en el mercado, de modo que disminuyan cada vez más las diferencias de precio entre los combustibles tradicionales y los obtenidos con cultivos energéticos y, con ello, se pueda generar un mercado estable. Las ventajas de todo tipo que induce el uso de esta biomasa sobre el medio con el que interactúa, el amplio alcance territorial que precisa su implantación a gran escala, y la disparidad de los agentes que intervienen en todo el proceso justifica el apoyo institucional a esta fuente de energía renovable.

La germinación y el crecimiento del mercado podría contribuir a vencer una parte de las barreras socioculturales mencionadas pero, para franquearlas completamente la realización de campañas de formación y de información parece indispensable.

Referencias

- [I] Organización de las Naciones Unidas, ONU (1997). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- [II] Comisión Europea (1997). Energía para el futuro: fuentes de energía renovables - Libro Blanco para una estrategia y un plan de acción comunitarios. Comunicación 599 final de 26 de noviembre de 1977.
- [III] Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, IDAE (1999). *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España*.
- [IV] Instituto Nacional de Estadística, INE (2002). Encuesta de población activa. Ocupados por comunidad autónoma y sector económico.
- [V] Gobierno de Aragón (2001). *Anuario estadístico agrario de Aragón 2000*. Departamento de Agricultura.
- [VI] Instituto Aragonés de Estadística, IAE (1997). *Agregados Económicos Básicos de Aragón*.
- [VII] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2001). *Hechos y Cifras del Sector Agroalimentario y del Medio Rural Español*. Secretaría General Técnica.
- [VIII] El Bassam, N. (1998). *Energy Plant Species. Their use and impact on environment and development*. James & James Ltd. ISBN: 1873936 753.
- [IX] Diputación General de Aragón (1997). *Atlas de biomasa para usos energéticos de Aragón*. Departamento de Economía, Hacienda y Fomento.
- [X] Ochoa, M.J. *Cultivo de cardo para la producción de biomasa*. Surcos de Aragón nº 69. Edición digital www.aragob.es/agri/surcos.
- [XI] Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario, AIDA (1996). *Nuevos cultivos, nuevos usos, nuevas alternativas*. Información Técnica Económica Agraria, ITEA. Volumen Extra, número 17.
- [XII] Ministerio de Industria y Energía (1998). Real Decreto 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración. BOE de 30 de diciembre de 1998.
- [XIII] Comisión Europea (2002). PE 307.195/Enm.trans.1-57 sobre el balance intermedio de la reforma de las OCM en el marco de la Agenda 2000. (2001/2127(INI)). Comisión de Agricultura y Desarrollo Rural 30 de abril de 2002.